

ANÁLISIS DE LAS PERCEPCIONES DE LOS USUARIOS ACERCA DE LA SERVICIABILIDAD EN VÍAS URBANAS

JOYCE LISETH CANTILLO ZULETA

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ingeniería Civil

Ing. PhD. JULIAN ALBERTO ARELLANA OCHOA
Director de Proyecto



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE

Barranquilla Colombia, marzo de 2016

ANÁLISIS DE LAS PERCEPCIONES DE LOS USUARIOS ACERCA DE LA SERVICIABILIDAD EN VÍAS URBANAS

Por

JOYCE LISETH CANTILLO ZULETA

Presentada al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Como requisito parcial para optar al título de:

Maestría en Ingeniería Civil

En la:

Fundación Universidad del Norte

Barranquilla Colombia, marzo de 2016

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría comenzar agradeciendo a Dios por regalarme día a día la fuerza necesaria para sacar adelante este proyecto

El apoyo incondicional de mi Director de Proyecto Julián A. Arellana Ochoa por su total disposición, dedicación, cariño y paciencia durante todo este período, que fueron esenciales en la realización de esta investigación.

Gracias al apoyo del Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores de Colciencias a través del convenio 0739-2013 que financió mis estudios. Agradezco también a los jóvenes del programa Semillero de Investigadores de Colciencias 2014 que participaron en elaboración de las bases de datos utilizadas en este documento. La Fundación Universidad del Norte y al grupo de investigación TRANVÍA, quien ayudó a financiar a algunas de las personas que participaron en la toma de la información de campo.

Por otro lado quiero agradecer a la empresa TRANSQUIROGA Ltda. por el apoyo otorgado a esta investigación. Finalmente a todo el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, a profesores, administrativos y alumnos por acompañarme y apoyarme en este periodo.

RESUMEN

La manera como los usuarios perciben la calidad del pavimento es evaluada por una escala de calificación subjetiva denominada medida actual de serviciabilidad (PSR). Cuando este índice se relaciona con calificaciones objetivas del pavimento se le denomina índice de serviciabilidad presente (PSI). Los modelos que se implementan actualmente en Colombia para evaluar el índice de serviciabilidad de las vías urbanas se basan en estudios realizados en otros países y pueden ser poco representativos a la hora de realizar evaluaciones de pavimentos a nivel nacional. Adicionalmente, la administración vial en el país tiene en cuenta parámetros subjetivos para el cálculo del índice de estado pero no tiene en cuenta la potencial heterogeneidad en las calificaciones debido a las características inherentes a los individuos. El presente estudio busca encontrar si existe evidencia para sugerir que los conductores perciben de forma diferente la calidad de una vía dentro de un contexto urbano. También, busca identificar aquellos daños en el pavimento que más influyen en la calificación dada por los conductores a la vía y el grado de impacto de dichos factores con la valoración de la calidad de las vías.

Dos encuestas fueron diseñadas y aplicadas a 232 conductores de diferentes tipos de vehículo mientras transitaban por algunas vías de la ciudad de Barranquilla. Dichas encuestas capturaron información socioeconómica de los conductores, del comportamiento de estos individuos mientras conducen, y de su percepción respecto a la calidad de las vías.

Mediante análisis multivariados se encontró que es posible identificar dos grupos de conductores de acuerdo a sus percepciones al momento de transitar por una vía. El primer grupo otorga mayor importancia a la condición en la que se encuentra una vía mientras conducen a través de esta. El otro otorga menos atención al estado de la vía debido a la distracción que generan otros agentes externos a la misma.

El grupo que se preocupa mayormente por el estado y mantenimiento de las vías, también se preocupa por la manera como esto potencialmente influye en la seguridad vial y la salud de las personas. Estos conductores se caracterizan principalmente por ser personas con más de diez años de experiencia conduciendo y por ser más críticos a la hora de evaluar un pavimento. En contraste, el grupo de conductores que son más tolerantes a la mala calidad de una vía, en promedio, tienen a realizar mejores evaluaciones de la calidad de las vías. A este grupo pertenecen mayoritariamente hombres y personas con poca experiencia en la conducción.

Mediante análisis *Best-Worst* se logró identificar el grado de impacto de los daños del pavimento en la calificación que dan los conductores a las vías. Se obtuvo que las fallas con mayor incidencia en la calificación otorgada a las vías urbanas son los huecos, los desprendimientos de agregados y los de tipo *Blow up / buckling*. Adicionalmente se encontró que si no se tuviera en cuenta el estado del pavimento, el ancho de la vía sería el factor más preponderante en la percepción de los conductores respecto a la calidad de las vías urbanas. En contraste, la demarcación de las vías resultó ser el atributo menos determinante para los conductores.

A pesar que las características inherentes a los conductores y su actitud al momento de conducir pueden condicionar la percepción de calidad de una vía se obtuvo que el índice PSR resultó ser más robusto para evaluar la calidad de una vía urbana que el criterio de aceptación.

Los resultados obtenidos en esta tesis sugieren que las percepciones de los conductores son pertinentes al momento de evaluar una vía y pueden variar entre grupos de evaluadores. Por tal razón, al seleccionar evaluadores de vías urbanas se sugiere tener en cuenta la experiencia que estos llevan conduciendo, el sexo, y la importancia que ellos le dan a las condiciones del pavimento, pues todas estas variables influyen en la aceptación que estos otorgan al estado de las vías.

PALABRAS CLAVE

Serviciabilidad, Medida actual de serviciabilidad (PSR), Vías urbanas, Percepción, Análisis Estadístico Multivariado, Análisis factorial, Cluster, *Best-Worst*.

ABSTRACT

The user perceived quality of a road surface is usually represented by a subjective 1 to 5 scale called Present Serviceability Rating (*PSR*). When correlating *PSR* with some objectively measurable physical characteristics of the road surface then it refers to Present Serviceability Index (*PSI*). Nowadays, serviceability index models used in Colombia are based on foreign research results but could not be appropriate to represent pavement conditions in the country. Even though pavement management strategies in Colombia take into account subjective parameters for evaluating the pavement quality, they ignore the potential heterogeneity of raters' quality perceptions.

The aim of this research is to obtain evidence regarding the importance of quality perception when evaluating roads in an urban context. An additional objective of this study is to rank the importance of different pavement defects and failures on the evaluation of urban roads.

Two surveys were applied to 232 drivers of different modalities in Barranquilla. Socioeconomic information, ride quality perceptions and driver behavior data was gathered.

Multivariate statistical techniques were used to identify two groups of drivers according their perception of pavement quality while driving. The first group of users gives more importance to pavement quality while the other pays less attention to road condition because they are more prone to focus on other characteristics of the road.

People who give top priority to pavement conditions are also worried about its maintenance and how the road conditions can impact their health and the road safety. Most of the users of this group are drivers with more than ten years of experience. On the other hand, users of the second group on average tend to evaluate better the pavements conditions. Most of them are men and people with little experience driving.

Best-Worst analysis was used to find the degree of importance of pavement failures for drivers in an urban context. Holes, landslides, blow up aggregates and warping were the surface defects or failures that have more influence in the evaluation given to a specific road section. In addition, the most important road characteristic influencing driver' perceptions of serviceability when pavement surface quality is not considered, is the width of the road. In contrast, the pavement demarcation was the less decisive for drivers.

The results of this study suggest that driver characteristics may influence their perception of road quality in urban contexts. A practical implication of the former result is related to the selection process of urban road raters. People attitudes towards driving and their driving experience have to be taken into account when choosing individuals to rate pavement sections in urban contexts. In addition, *PSR* index was found to be a more stable measure to evaluate the pavement quality than the acceptance criterion.

KEYWORDS

Serviceability, *PSR*, Urban roads, Perception, Multivariate Data Analysis, Factor Analysis, Cluster Analysis, Best – Worst scaling.

CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	10
1.1	Objetivos.....	11
1.1.1	Objetivo principal:.....	11
1.1.2	Objetivos específicos:.....	11
1.2	Alcance	11
1.3	Justificación	12
2	ESTADO DEL ARTE	13
2.1	Concepto de serviciabilidad (PSR), (PSI) y rugosidad.....	13
2.2	Estudios similares	13
2.3	Generalidades el Análisis Estadístico Multivariado	16
2.4	Generalidades del Análisis Factorial (AF).....	17
2.4.1	Modelo del Análisis factorial	18
2.5	Análisis de clúster.....	20
2.6	Teoría Best and Worst (BW)	21
2.6.1	BW Caso 1:.....	21
2.6.2	BW Caso 2:.....	22
2.6.3	BW Caso 3.....	22
2.6.4	Estimación de probabilidad de elección en modelos <i>best and worst</i>	24
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Selección de tramos viales	25
3.2	Mediciones objetivas	27
3.3	Diseño de encuestas	27
3.3.1	Primera parte de la encuesta:	27
3.3.2	Segunda parte de la encuesta.....	29
3.4	Toma de datos	31
3.5	Análisis de datos	31
4	ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS USUARIOS DE VIAS URBANAS: APLICACIÓN DE ANALISIS MULTIVARIADO	33
4.1	Análisis estadísticos descriptivos de la muestra de conductores	33
4.2	Análisis Factorial Exploratorio	34
4.2.1	Operacionalización de las variables	34
4.2.2	Correlación de las variables.....	36

4.2.3	Prueba de esfericidad de Bartlett	36
4.2.4	Matriz de correlación.....	37
4.2.5	Comunalidades	37
4.2.6	Matriz de estructura factorial.....	39
4.3	Análisis factorial Confirmatorio	40
4.4	Análisis clúster.....	43
5	PRESENTACION Y ANALISIS ESTADISTICO DE LA MUESTRA DE TRAMOS: ANALISIS BEST-WORST	46
5.1	Presentación de los datos	46
5.2	Análisis de modelos <i>Best-Worst</i>	49
5.3	Análisis de la importancia de las fallas del pavimento	50
5.3.1	Modelo general de importancia de las fallas de pavimentos considerando todos los tramos	50
5.3.2	Análisis de la importancia de daños en tramos calificados como buenos	52
5.3.3	Análisis para tramos calificados como malos.....	52
5.3.4	Modelos de importancia de fallas considerando grupos de individuos con diferencias de percepción	54
6	Modelos <i>Best-Worst</i> para características relacionadas con las condiciones de las vías.....	56
6.1.1	Modelos de características relacionadas con las condiciones de las vías considerando grupos de individuos con diferencias de percepción.....	59
6.1.2	Relación entre la las condiciones de la vía y su evaluación a través de un modelo de regresión.....	60
7	CONCLUSIONES.....	61
8	BIBLIOGRAFIA	63
9	ANEXOS	67
9.1	Anexo 1: formulario para toma de información de conductores	67
9.2	Anexo 2: formulario de encuesta para toma de información de las vías	69
9.3	Anexo 3: Matriz de correlaciones Análisis factorial exploratorio	70
9.4	Anexo 4: Varianza total explicada Análisis factorial exploratorio.....	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros implementados en la administración vial en Colombia	10
Tabla 2: Clasificación de los métodos multivalentes según enfoque y objetivos	17
Tabla 3: Representación matricial de datos análisis factorial datos	18
Tabla 4: Afirmaciones que miden el comportamiento de los conductores.....	28
Tabla 5: Terminología formal e informal de los tipos de daños del pavimento.....	30
Tabla 6: Operacionalización de variables relacionadas con comportamiento de los conductores	35
Tabla 7: Medida de Índice KMO vs diagnósticos de adecuación	36
Tabla 8: Resultado de Índice de KMO y prueba de Bartlett	37
Tabla 9 Comunalidades obtenidas con 7 variables latentes.	38
Tabla 10: Comunalidades obtenidas con 3 variables latentes.	39
Tabla 11: Matriz de componentes rotados.....	40
Tabla 12: resultado de Análisis Factorial Exploratorio	41
Tabla 13: Resultados del análisis factorial Confirmatorio	42
Tabla 14: Características de los individuos pertenecientes a cada grupo.....	44
Tabla 15: Prueba de medias para variable aceptación.....	45
Tabla 16: Resultado del modelo de importancia de fallas del pavimento	50
Tabla 17: Probabilidades de elección modelo general fallas del pavimento.....	51
Tabla 18: Resultado del modelo de características del pavimento para tramos buenos y sus Probabilidades de elección	52
Tabla 19: Resultado del modelo de características del pavimento para tramos malos	53
Tabla 20: Estadístico de diferencia de proporciones de acuerdo a la evaluación del pavimento	53
Tabla 21: Modelos de importancia de características del pavimento para diferentes grupos de usuarios respecto a tolerancia de la calidad de las vías	54
Tabla 22: Probabilidades de elección modelos para clúster de evaluadores respecto a tolerancia de la calidad de las vías	54
Tabla 23: Puntaje B-W de factores relacionados con las condiciones de la vía.....	56
Tabla 24: Resultado del modelo de las características consideradas más atractivas de las condiciones de las vías	57
Tabla 25: Resultado del modelo de las características consideradas menos atractivas de las condiciones de las vías	57
Tabla 26: Resultado del modelo best- worst de características de las condiciones de las vías	58
Tabla 27: Resultado modelo de las características consideradas más atractivas de las condiciones de las vías para diferentes grupos de usuarios respecto a tolerancia de la calidad de las vías	59
Tabla 28: Probabilidades de elección de las características consideradas más atractivas para clúster de evaluadores respecto a tolerancia de la calidad de las vías	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de formulario de encuesta implementado en estudios anteriores (De Solminihac et al, 2003).....	14
Figura 2. Formulario de encuestas utilizados en otros estudios (Skuman K et al., 1086)...	14
Figura 3 . Esquema de un análisis factorial (De la Fuente, 2011).....	18
Figura 4: Representación de la metodología aplicada en la investigación (Elaboración propia).....	25
Figura 5 Distribución de los tramos seleccionados sobre la ciudad de Barranquilla (Elaboración propia)	26
Figura 6. Porcentajes de edad de la muestra de individuos encuestados (Elaboración propia).....	33
Figura 7 Estrato socioeconómico de la muestra encuestada (Elaboración Propia)	33
Figura 8 Nivel de escolaridad de la muestra encuestada (Elaboración Propia)	34
Figura 9 Antigüedad al conducir de la muestra encuestada (Elaboración propia)	34
Figura 10: Porcentaje de tramos evaluados vs calificación promedio (Elaboración propia)	47
Figura 11: Porcentaje de observaciones vs calificación (Elaboración Propia).....	47
Figura 12: Porcentaje de observaciones vs característica del pavimento que más influyó en su calificación (Elaboración propia).....	48
Figura. 13 Porcentaje de observaciones vs factor que más gusto de la vía (Elaboración Propia)	49
Figura. 14 Porcentaje de observaciones vs factor que menos gusto de la vía (Elaboración propia).....	49
Figura. 15 Sensibilidades (pendientes) de modelo BW (Elaboración propia)	58

1 INTRODUCCION

Las vías deben proporcionar a lo largo de su vida útil una superficie de circulación estable y una sensación de transitabilidad segura a sus usuarios. En Colombia no se tiene una metodología unificada para la valoración de los parámetros funcionales y estructurales para determinar el índice de estado de la red vial, por lo que los sistemas de administración de pavimentos se basan en lo que el Estado haya determinado (Fuentes et al, 2012).

En la tabla No. 1 se muestra el factor de influencia de diferentes parámetros que son utilizados actualmente en la administración vial en el país para el cálculo del índice de estado. En dicha tabla se observa que los daños en la vía son importantes, pero también la percepción de los conductores que transitan por estas. La percepción de los usuarios viene representada por el criterio de aceptación del usuario. Dado que dicho criterio tiene una ponderación actual del 12% de la calificación ponderada el índice de estado, resulta de interés estudiar este parámetro cualitativo más a fondo y conocer si dicho parámetro puede estar influenciado por algunas características inherentes al evaluador.

Tabla 1: Parámetros implementados en la administración vial en Colombia

Elemento	Factor de influencia
Escalonamiento	0,15
Fisuras y grietas	0,17
Estado de las juntas	0,15
Rugosidad	0,17
Resistencia al deslizamiento	0,17
Zonas laterales	0,07
Aceptación del usuario	0,12
Sumatoria	1

Fuente: Distrito de Barranquilla

La presente investigación tiene como objetivo identificar grupos potenciales de usuarios que tengan las mismas percepciones acerca de la calidad de los pavimentos cuando transiten por vías urbanas. Además se busca determinar cuáles son los daños en el pavimento y las características de transitabilidad que influyen en mayor y menor grado en la percepción de calidad de las vías por parte de conductores de vías urbanas.

Para ello, se seleccionó una muestra de 107 tramos viales urbanos en la ciudad de Barranquilla. Luego, se encuestó a 232 individuos quienes reportaron su información socioeconómica, sus experiencias en la conducción, sus percepciones al manejar, y evaluaron subjetivamente diferentes tramos de vías.

Para identificar los grupos potenciales de usuarios con percepciones similares, se aplicaron técnicas estadísticas multivariadas y se realizó una comparación entre las tasas de aceptación de la calidad de los pavimentos entre los diferentes conglomerados de personas encontrados. Además se realizó un análisis *Best - Worst* con el fin de comprobar cuáles

son aquellos factores tanto de la superficie del pavimento como de transitabilidad que impactan la percepción de calidad de los diferentes tipos de usuarios de la vía.

El resto del documento se encuentra organizado de la siguiente manera. Primero, se presenta una revisión bibliográfica donde se ilustran los antecedentes encontrados en la literatura y se analizan los resultados reportados y las variables utilizadas en estos estudios. Luego, se describe la metodología utilizada en el estudio. Posteriormente, se muestra un análisis estadístico descriptivo de los datos. Más adelante, se presentan los resultados obtenidos a través de los análisis estadísticos realizados; y por último se entregan las conclusiones del estudio.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo principal: Estudiar la importancia y variabilidad de criterios subjetivos en la valoración de la calidad de las vías urbanas.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Diseñar y aplicar un instrumento que permita medir el grado de aceptación de los usuarios por vías urbanas y los factores que puedan incidir en su valoración.
- Aplicar técnicas de análisis estadístico multivariado con el fin de identificar grupos de usuarios con percepciones diferentes respecto a la calidad de una misma vía urbana.
- Evaluar la importancia de diferentes factores o fallas del pavimento en la evaluación del estado de una vía urbana.

1.2 Alcance

En la presente investigación se estudiará la importancia de criterios subjetivos en la percepción de la calidad de vías urbanas, tomando como muestra de estudio tramos de vía y conductores de la ciudad de Barranquilla. La presente tesis hace parte de un estudio de mayor alcance para el cual se tomaron mediciones objetivas de daños y características superficiales de los pavimentos. Dichas mediciones objetivas no serán tenidas en cuenta en la estimación de los modelos presentados en esta tesis.

Se recopiló información socioeconómica y del comportamiento de los conductores al momento de transitar por una vía con el fin de estimar modelos que permitan determinar la existencia de grupos de conductores con diferentes percepciones de una misma vía y sus características. El lugar de nacimiento no fue tenido en cuenta para la realización del anterior análisis.

A pesar que se encuestó a conductores de diferentes tipos de vehículo para la realización de este estudio, dicha información no se tuvo en cuenta para la realización de los análisis. En estudios futuros deberá tenerse en cuenta si el tipo de vehículo que conducen los

encuestados tiene alguna influencia en las percepciones de estos sobre la calidad de las vías. Por último, en este estudio se estiman modelos para determinar la influencia de algunos factores en la percepción de la calidad de las vías. Sin embargo, cabe aclarar que no se tuvo en cuenta la frecuencia de tránsito de los usuarios por una determinada vía.

1.3 Justificación

Actualmente el mantenimiento y control de la calidad de las vías colombianas es controlada a través del concepto del índice de estado. Los modelos implementados por las diferentes concesiones en Colombia no tienen un carácter uniforme, las variables utilizadas y los factores de influencia de dichas variables son diferentes en cada concesión. Para poder realizar un modelo confiable es necesario tener en cuenta todos los aspectos que influyen en el deterioro de las vías ya que estos son esenciales a los estudios de fijación de precios y regulación de vías (Prozzi et al, 2002).

Los modelos para evaluar el índice de serviciabilidad de las vías urbanas que actualmente se usan en el país son basados en estudios realizados en otros países como Chile, Italia y Estados Unidos. Las percepciones de los usuarios acerca de la calidad de las vías rurales y urbanas en estos países pueden diferir respecto a las de los usuarios en Colombia. La diferencia de percepción puede hacer que las comparaciones de calidad de las vías entre países sean poco representativas y los criterios sean diferentes a la hora de realizar evaluaciones de pavimentos a nivel rural y urbano.

La percepción que tienen los usuarios acerca de la comodidad al transitar por vías urbanas puede variar de acuerdo a características inherentes al individuo. En estudios previos, la percepción de los individuos no es un factor que se tenga comúnmente en cuenta pero que puede llegar a ser determinante al momento de obtener el índice de serviciabilidad. Si la percepción de comodidad al transitar por una vía varía entre individuos o grupos de individuos, resulta importante identificar aquellos que tiendan a valorar una misma vía de manera similar y aquellos que la valoran de forma diferente. La posibilidad de contar con valoraciones diferentes por parte de los usuarios debe tenerse en cuenta a la hora de realizar evaluaciones del índice de serviciabilidad de los pavimentos.

La percepción y valoración de las vías por parte de los usuarios tiene estrecha relación con la manera como los usuarios perciben los diferentes tipos de daños en las vías y como diferentes características de la vía pueden afectar la percepción de transitabilidad. Además de realizar mediciones objetivas de los daños en la superficie del pavimento con el fin de darle una calificación, es de importancia conocer la manera como los usuarios perciben estos daños y tenerlo en cuenta al momento de otorgar una valoración subjetiva a cada daño dentro de las vías.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Concepto de serviciabilidad (PSR), (PSI) y rugosidad

La serviciabilidad es un indicador que representa el nivel de servicio que le dan los usuarios al pavimento. Este concepto surgió con el fin de determinar la percepción de la calidad de viaje que experimenta el usuario al transitar por una vía. Este índice está relacionado con una opinión subjetiva de los usuarios respecto a aspectos objetivos medibles de la superficie de rodadura (Shah et al,2013). La AASHTO derivó este concepto de serviciabilidad para relacionar el estado del pavimento con el comfort o la sensación de satisfacción de los usuarios respecto al viaje.

La AASHO (*American Association of State Highway Officials*) cerca de los años 60 realizó un estudio donde evaluó 123 secciones de pavimento, de las cuales 74 eran flexibles y 49 rígidos (Highway Research Board, 1962). En el desarrollo del experimento se pidió a los usuarios evaluar la capacidad de servicio de las carreteras en una escala del 0 al 5 mientras estos conducían en un vehículo de prueba por un tramo escogido previamente. Esta calificación se toma como medida de la evaluación subjetiva de la serviciabilidad la cual viene dada por un indicador subjetivo denominado medida actual de serviciabilidad (PSR). El PSR puede ser remplazado por otro índice que se denomina PSI (Present Serviabiility Index) y que se obtiene a partir de mediciones de variables objetivas relacionadas con el pavimento (Shah et al,2013).

El índice actual de serviciabilidad (PSI) es en gran parte función de la rugosidad. Resultados de una prueba de la ASSHO muestra que cerca del 95% de la información acerca de la serviciabilidad de un pavimento viene dada por la rugosidad de la superficie de su perfil y ha mostrado estar fuertemente correlacionado con la medida de la calidad de conducción (Skuman et al, 1986; Sun, 2000; Shafizadeh et al, 2006).

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento, que afectan negativamente la calidad de conducción, la seguridad, y los costos de operación y mantenimiento de un vehículo (Skuman et al, 1986). Se acepta que el IRI es el factor que más influye en la evaluación de los usuarios al calificar la calidad de conducción (De Solminihaç et al, 2003).

2.2 Estudios similares

Luego del experimento seminal de la AASHO se han venido determinando principalmente modelos de PSI para zonas o ciudades específicas e incluso se ha intentado incluir otras variables influyentes utilizando la misma metodología de evaluación subjetiva que se utilizó en el trabajo inicial. Las variables que se han adicionado al trabajo seminal principalmente son en su mayoría mediciones objetivas de ciertas características del pavimento.

Uno de los métodos utilizados para recolectar datos acerca de la evaluación del PSR de los usuarios de una vía ha sido mediante la realización de encuestas. En las Figuras 1 y 2 se observan los modelos de encuestas que han sido implementados.

Section's code _____ Date _____
 Evaluator's name _____ Time _____

Section Evaluation:

Very Good	Acceptable to include in:	
Good	(a) Expressways	(b) Urban Roads
Quite Good	Yes	Yes
Bad	Undecided	Undecided
Very Bad	No	No

Comments: _____

Figura 1 Ejemplo de formulario de encuesta implementado en estudios anteriores (De Solminihaç et al, 2003)

SERVICEABILITY RATING CARD

Test Section _____ Date _____ Time _____

Rating Scale	Very Good	Acceptable on the:	Car/Make Model _____
	Good		
	Fair		
	Poor		
	Very Poor		

(a) Interstate system

Yes
Undecided
No

Position in the car:
DR RF LR RR

Name _____
 Age _____

(b) Secondary system

Yes
Undecided
No

Figura 2. Formulario de encuestas utilizados en otros estudios (Skuman K et al., 1086)

Típicamente, en los estudios donde se ha evaluado el PSR se han incluido dos tipos de preguntas que buscan capturar las percepciones de los usuarios al transitar por las vías. La primera pregunta consiste en una escala de evaluación que generalmente va del 1 al 5 donde se le pide al usuario calificar el estado de la vía de acuerdo a las siguientes categorías: Muy malo (1), malo (2), regular (3), bueno (4), muy bueno (5). La segunda es una pregunta independiente de la calificación PSR y con respuesta usualmente dicotómica (aceptable o inaceptable). La pregunta busca conocer la tolerancia del usuario respecto al estado del pavimento y se relaciona con la aceptación del usuario respecto a la calidad de la

vía. A esta última pregunta, algunos autores le han adicionado otra categoría de respuesta denominada indeciso, para otorgar mayor flexibilidad a la medida (La Torre, *et al.*, 2002).

Muy pocas investigaciones han establecido nuevas relaciones entre el índice de PSI y las valoraciones subjetivas PSR de los individuos participantes en el estudio. Incluso poco se ha investigado acerca de la posible variabilidad que pueden tener las calificaciones del PSR entre individuos, dada la subjetividad de la misma medida. Sin embargo se han adelantado investigaciones en las que se han implementado análisis estadísticos para determinar la relación entre el PSR y determinadas variables tanto objetivas como subjetivas.

En Chile, a partir de las calificaciones subjetivas de serviciabilidad PSR realizadas por un panel de 9 miembros (5 hombres y 4 mujeres) conduciendo tres tipos de vehículos se obtuvo una relación entre el PSR y mediciones objetivas realizadas sobre 27 secciones de pavimentos de la ciudad de Santiago (De Solminihaç et al, 2003) .

En Estados Unidos, a partir de una muestra de 56 conductores de la ciudad de Washington quienes proporcionaron información de los viajes, de los vehículos y evaluaron cerca de 40 segmentos de vía cada uno se establecieron relaciones objetivas entre el IRI de los pavimentos y el criterio de aceptación de la superficie de rodadura por parte de los usuarios de vehículos particulares, con el fin de identificar las vías a ser potencialmente reparadas (Shafizadeh et al, 2003)

En Italia también se desarrollaron modelos para correlacionar mediciones objetivas del perfil de la vía con la aceptación de los usuarios de las condiciones de los pavimentos. Este estudio se realizó tomando como muestra 17 vías urbanas con diferentes tipos de pavimentos, que fueron evaluadas por al menos 10 usuarios que condujeron a menos de 50km/hr sobre ellas (La Torre, *et al.*, 2002).

En la literatura no sólo se encuentran estudios que buscan relacionar las calificaciones subjetivas con mediciones objetivas de las características de los pavimentos. También, se ha intentado conocer la influencia de algunas variables relacionadas con los individuos respecto a la calificación subjetiva de la superficie que estos les otorgan. Nair et al. (1986) además de establecer relaciones entre el PSI y mediciones objetivas sobre el pavimento, evaluaron la influencia en las evaluaciones de PSR de variables relacionadas con el usuario como edad, sexo, profesión, fatiga al momento de realizar la calificación, y la experiencia técnica. Los autores, a partir de un análisis de varianza y definiendo 2 niveles por cada factor, obtuvieron que la única variable que puede afectar las valoraciones subjetivas del usuario es la relacionada con la fatiga del calificador. Además, encontraron que el tipo de vehículo en el que se realice la evaluación tiene un efecto sobre la calificación.

Shafizadeh et al, (2003) usando análisis ANOVA y modelos Probit donde los usuarios debían calificar el estado del pavimento en una escala entre 1 y 5, encontraron que las variables edad y sexo influyen en la percepción de los usuarios al evaluar la rugosidad del pavimento. Las variables que los autores tuvieron en cuenta fueron edad, sexo, profesión, nivel de ingreso, fatiga al momento de realizar la calificación, y la experiencia técnica del usuario.

Más recientemente, en Canadá se realizó un análisis psicométrico para determinar umbrales de IRI que permitieran clasificar los pavimentos de acuerdo a tres categorías de rugosidad (bueno, regular y pobre) y además identificar los factores que afectan significativamente la percepción de los usuarios respecto a la rugosidad de los pavimentos (Tehrani, 2015). El análisis psicométrico identificó que el propósito del viaje, la experiencia del conductor, si la superficie se encuentra seca o no, y la familiaridad con la vía son los factores que más incidencia tienen en la percepción de la rugosidad del pavimento por parte de los usuarios. La edad, el sexo, el tipo y el modelo del carro resultaron ser no significativos en el análisis de los factores.

Los estudios que se mencionan usan poca muestra y además buscan principalmente enfocarse en la relación entre serviciabilidad y mediciones objetivas (IRI). En aquellos intentos por incluir características de los individuos, no se encuentra consenso en la literatura respecto a las variables subjetivas que influyen la percepción de los usuarios respecto a la serviciabilidad y aceptación de las vías. Esta investigación corresponde a uno de los primeros intentos para identificar factores que influyen la aceptación de vías urbanas, usando una muestra de usuarios colombianos e implementando análisis estadístico multivariado. Las herramientas estadísticas se seleccionaron con el fin de identificar potenciales diferencias en las valoraciones de la calidad de las vías y sus características provenientes de distintos grupos de usuarios que pudieran ser usados como evaluadores de vías urbanas en el país.

2.3 Generalidades el Análisis Estadístico Multivariado

El análisis estadístico multivariado es una rama de la estadística que se interesa en el estudio de la relación entre series de variables dependientes de los individuos que la sustentan (Lozares et al, 1991). El conjunto de las técnicas multivariantes posibilita diversos niveles de análisis correlativos. El análisis estadístico multivariado corresponde a técnicas que analizan simultáneamente más de dos variables con mediciones objetivas realizadas a individuos sujetos a estudio (Hair et al., 2010). De acuerdo a Lozares et al. (1991) existen varios criterios de clasificación para estas técnicas:

- ❖ De acuerdo al modelo de análisis o diseño de la investigación las técnicas pueden ser exploratorias, explicativas, de criterios clasificatorios, con orientación predictiva y reductiva. En el caso del presente estudio se implementaron todas estas a excepción de las predictivas.
- ❖ Según criterios algebraicos y técnico instrumentales se pueden clasificar de acuerdo a la relación entre variables (dependencia e interdependencia), la cantidad de variables y la naturaleza cualitativa o cuantitativa de las mismas.

Tabla 2: Clasificación de los métodos multivalentes según enfoque y objetivos

Objetivos	Enfoque descriptivo (información)	Enfoque inferencial (conocimiento)
	Métodos de explotación de datos Objetivo: Extraer información	Métodos de inferencia Objetivo: Generar conocimiento
Obtener indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes principales (I) • Correspondencia (I) 	<ul style="list-style-type: none"> • Factorial
Clasificar	<ul style="list-style-type: none"> • Conglomerados (I) 	<ul style="list-style-type: none"> • Discriminante (D) • Elección discreta (D)
Construir grupos	<ul style="list-style-type: none"> • Conglomerados (I) 	
Relacionar variables	<ul style="list-style-type: none"> • Regresión Múltiple 	<ul style="list-style-type: none"> • Correlación canónica (D) • MANOVA (D) • Ecuaciones estructurales (D)

Fuente: Quero, 2012

A continuación se presenta una serie de técnicas que pueden ser implementadas en un amplio rango de posibles situaciones de investigación (Lozares et al, 1991):

- Análisis de componentes principales y análisis factorial
- Regresión múltiple
- Análisis de discriminante y regresión logística
- Análisis de correlación canónica
- Análisis de varianza y covarianza
- Análisis de conjuntos
- Análisis de clúster
- Análisis de correspondencia
- Modelación de análisis factorial exploratoria y confirmatoria.

En la presente investigación se busca identificar diferentes tipos de comportamientos en los conductores de vías urbanas mientras estos transitan a través de las mismas. Para ello se diseñó un instrumento que recopilara un número considerable de variables que pudieran incidir en dicho comportamiento. Debido a la cantidad de variables recolectadas se hace difícil el tratamiento de la información y la interpretación de los resultados obtenidos; por tal motivo, fue necesario aplicar una técnica estadística de orientación reductiva para obtener un número reducido de variables.

2.4 Generalidades del Análisis Factorial (AF)

El análisis factorial (AF) es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de estas. Los grupos homogéneos se forman con las variables que correlacionan fuertemente entre sí y procurando que los grupos encontrados sean independientes entre sí (Kahn, 2006).

De acuerdo a Pérez (2004), al realizar el análisis factorial se busca que al extraer los factores estos sean independientes entre sí, es decir que sean ortogonales, por lo tanto esta técnica examina la interdependencia de las variables y proporciona información de la estructura subyacente de los datos. El aspecto que más caracteriza este análisis es su capacidad de reducción de datos, ya que las relaciones entre las variables vienen dadas por su matriz de correlación. El AF se puede aplicar partir de una serie de coeficientes de correlación para el conjunto de variables observadas.

Luego se procederá a estudiar si algún patrón subyace de las relaciones entre las variables a analizar de manera que los datos puedan ser organizados nuevamente de acuerdo a un conjunto menor de factores que podamos considerar que resumen las interrelaciones que fueron observadas entre los datos (Perez, 2010). En la figura 3 se muestra el esquema de un análisis factorial exploratorio.

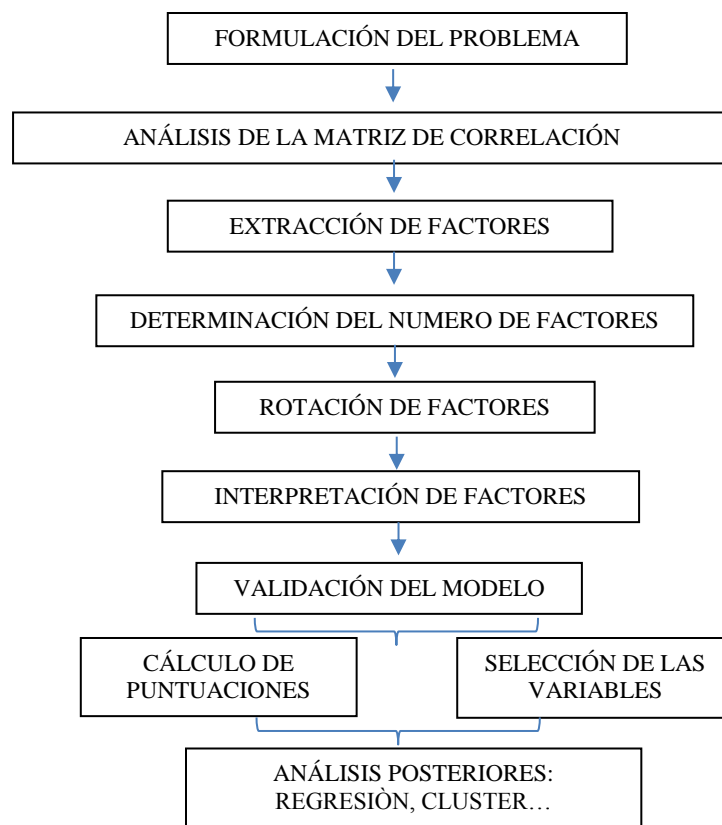


Figura 3 . Esquema de un análisis factorial (De la Fuente, 2011)

2.4.1 Modelo del Análisis factorial

Sean (X_1, X_2, \dots, X_p) las p variables objeto de análisis tipificados (...) se miden estas variables sobre n individuos, obteniéndose la siguiente matriz de datos:

Tabla 3: Representación matricial de datos análisis factorial datos

Sujetos	Variables			
	X_1	X_2	...	X_n
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1p}
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2p}
...
n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{np}

Fuente: De la Fuente, 2011

El modelo AF viene expresado habitualmente en forma matricial:

$$X = Af + u \leftrightarrow X = FA' + U \quad (1)$$

Donde:

X= Matriz de datos

A= Matriz de cargas factoriales

F= Matriz de puntuaciones factoriales

U=Matriz de factores comunes

La varianza de cada una de las variables analizadas se puede descomponer en dos: la comunabilidad, que representa la varianza explicada por los factores comunes; y la especificidad, que representa la parte de la varianza específica de cada variable. A su vez, la covarianza entre cada par de variables se puede expresar como:

$$Cov(x_i, x_l) = Cov \left(\sum_{j=1}^k a_{ij} F_j, \sum_{j=1}^k a_{lj} F_j \right) = \sum_{j=1}^k a_{ij} a_{lj} \quad \forall i \neq l \quad (2)$$

Teniendo en cuenta la ecuación (2), los factores comunes son los que explican las relaciones existentes entre las variables, por lo que son de interés y resultan ser susceptibles de interpretación experimental. Los factores únicos se incluyen en el modelo dado la imposibilidad de expresar, en general, p variables en función de un número más reducido de k factores (De la Fuente, 2011).

La técnica para realizar el AF en esta tesis será el método de componentes principales. De acuerdo con Dallas (2000) en el análisis de componentes principales se usa un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables respuestas correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas conocidos como componentes principales. Este se puede hacer tomando como base la matriz de varianza-covarianza de las muestras o la matriz de correlación. No obstante, este autor añade que este método es realmente útil, sin importar que no se puedan interpretar todas las variables, pues al momento de implementarlo todas las variables deben estar medidas en las mismas unidades y deben tener varianzas de tamaño muy semejante.

Cuando un AF se emplea con el objeto de reducir un gran número de indicadores operativos en un número inferior de variables conceptuales se denomina AF exploratorio. El AF exploratorio aunque constituye una técnica estadística válida, llevará a resultados poco estables si se desconoce el constructo que se pretende validar o definir (Pérez et al., 2010). Cuando se quiere comprobar estadísticamente hipótesis que determinan cómo se agrupan diferentes conjuntos de variables observadas o indicadores, el AF exploratorio debe complementarse con un AF confirmatorio (Byrne, 2010).

Dado que en esta tesis se pretende identificar grupos de individuos que evalúen los pavimentos de forma similar y que además posean características similares entre sí, luego de aplicar el AF para reducir la cantidad de variables incluidas en las encuestas, se implementó una técnica estadística multivariada de criterio clasificatorio. En este caso, la técnica seleccionada fue el análisis de clúster ya que este es un método que permite el manejo de grandes cantidades de datos y permite su agrupación con la mínima pérdida de

información y permite establecer medidas de similitud entre objetos mediante variables cualitativas (Esquivel et al. 1991).

2.5 Análisis de clúster

El análisis de clúster es una técnica analítica utilizada para clasificar a un conjunto de individuos en grupos homogéneos. Dado un conjunto de individuos (de N elementos) caracterizados por la información de n variables X_j ($j= 1,2,\dots, n$), se clasifican los individuos pertenecientes a un grupo (clúster) de forma tal que la información de dichas variables sea lo más similar posible entre sí. Por el contrario, se busca que la información que caracteriza los miembros de un grupo particular, sean lo más distintas posible respecto a las de otro grupo.

Existen por lo menos tres pasos en el análisis de clúster. El primero consiste en hallar una medida de similitud entre las entidades con fin de determinar cuántos grupos existen realmente. El segundo paso consiste en determinar el número de grupos y por último agrupar las entidades.

- Medida de similitud: Este primer paso consiste en desarrollar una medida descriptiva de asociación que representa el grado de correspondencia entre los entre cada uno de los objetos de estudio. Entre más pequeño sea el valor de la medida representará una mayor similitud entre observaciones. Entre las medidas de aproximación más usadas se encuentran la distancia euclidiana, la distancia euclidiana al cuadrado, la distancia Manhattan, de Mahalanobis (D^2). Cada investigador escoge la medida de similitud a utilizar de acuerdo a sus intereses particulares. Quizás las medidas más reconocidas son la distancia euclidiana y la distancia euclidiana al cuadrado.

Distancia euclidiana: La distancia euclidiana entre puntos $P= (p_1, p_2, \dots, p_n)$ y $Q= (q_1, q_2, \dots, q_n)$ viene dada por:

$$d_E(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (3)$$

Distancia Euclidiana al cuadrado: su ventaja es que no tiene en cuenta la raíz cuadrada. Es la más recomendada para métodos de agrupación y la que se usará para la estimación de conglomerados en la presente tesis (Hair et al., 2010).

- Agrupación de observaciones para formar los clúster: Luego de calcular una medida de similitud, se procede a formar los conglomerados o clúster. A medida que se combinan las observaciones para formar los clúster se incrementa la heterogeneidad entre los individuos pertenecientes a cada conglomerado. La heterogeneidad se refiere a la ausencia de similitud entre los grupos. Existen

diversos test estadísticos para medir el grado de heterogeneidad entre cada clúster. Uno de los más utilizados es el estadístico de Fisher.

- Interpretación de los *clúster*: Luego de determinados los clúster, se procede a examinar cada conglomerado y se le asignan nombres para describir mejor los grupos de acuerdo a su naturaleza (Hair, et al., 2010).

Dado que en esta tesis no solamente se pretenden encontrar grupos homogéneos de individuos que tengan en cuenta los mismos criterios de valoración de una vía urbana, se utilizaron técnicas estadísticas para encontrar la importancia relativa de cada uno de los factores que los evaluadores pueden considerar al momento de calificar las vías. La técnica específica que se usó en esta tesis es la escala *Best and Worst* debido a su fácil implementación, estimación e interpretación. La importancia relativa de un atributo en particular dentro de una serie de atributos presentados a cada persona se basó en la estimación de modelos de elección discreta aplicados a escalas *Best and Worst*.

2.6 Teoría Best and Worst (BW)

El termino *best and worst* fue presentado por primera vez por Jordan Louviere durante un foro de técnicas avanzadas de investigación en la asociación americana de marketing en 1988 (Louviere et al.,1990). Desde este momento su aplicación se ha incrementado, y ha sido implementada en áreas como marketing, logística, economía, y en evaluaciones sociales y psicológicas de la personalidad.

Este método es relativamente sencillo. Consiste en hacer que las personas elijan la mejor (*best*) y la peor (*worst*) opción de una lista de ítems de acuerdo a un criterio previamente establecido. Esta técnica también se conoce como diferencia máxima “*max-diff*”, ya que el individuo busca simultáneamente o secuencialmente el par de alternativas con la mayor diferencia de utilidad reportada. Existen tres diferentes tipos de encuestas *Best and Worst*:

2.6.1 BW Caso 1:

En este caso, se presentan distintos objetos al individuo, quien debe elegir cuál es el mejor y cuál es el peor dentro de las posibilidades. Por objetos se refiere a que no necesariamente poseen atributos ni niveles de atributos. Este enfoque ha sido aplicado en diversos tipos de investigaciones. A continuación se muestran investigaciones que usan esta técnica en diferentes disciplinas.

Auger et al (2007) utiliza BWS caso 1 para examinar las diferencias en las actitudes de los consumidores hacia los temas sociales y éticos en seis países diferentes y un total de más de 600 encuestados. Los temas más importantes resultaron ser los derechos humanos, el trabajo infantil y las condiciones de trabajo seguras y buenas. D’Alessandro y Winzar (2010) estudiaron la dificultad de ofrecer una educación “homogénea” a una población estudiantil “heterogénea”. Louviere y Flynn (2010) midieron la percepción pública y las preferencias de la reforma de salud en Australia usando esta técnica.

Balbontin (2013) señala que encuestas BW han sido utilizadas “*en el mercado de vinos, por ejemplo, donde no se definen distintos niveles para los atributos (como textura o color), sino que sólo se evalúa la importancia relativa de cada atributo para los individuos. Otra aplicación común se relaciona con evaluar mejoras al sistema de transporte, donde se plantea a los individuos posibles iniciativas como agregar ciclovías, o aumentar los estacionamientos para bicicletas en las cercanías de estaciones de transferencia de transporte público, y el encuestado debe indicar cuál de esas opciones constituiría la mejor inversión*”.

En Japón, Burke et al. (2013) realizaron un estudio para determinar la importancia de ciertas características del trigo para los compradores. Para ello implementaron modelos de elección discreta y la técnica BW caso 1 fue utilizada como primer paso en la estimación de modelos fiables y precisos de las preferencias de los compradores. Estos autores utilizaron tablas de contingencia de los datos para estimar el número de veces que cada opción fue elegida como mejor (*best*) y peor (*worst*), y a partir de dichos conteos determinaron el grado de importancia asociado a cada alternativa de elección calculando la raíz cuadrada de la razón entre las veces que un factor fue escogido como *best* sobre las veces que fue escogido como *worst*.

2.6.2 BW Caso 2:

Para este caso el encuestado debe elegir entre una secuencia de perfiles con distintos atributos y cada atributo con un cierto nivel, cual le parece mejor y peor. Así la elección individual se basa en un nivel determinado de cada atributo. Mediante este tipo de elección, es posible diferenciar la importancia que posee la escala de los niveles elegidos de la importancia intrínseca de cada atributo ya que es posible estimar una función de utilidad para cada atributo por separado (Louviere, 2013a).

El caso 2 ha sido implementado para estudiar la valoración de atributos de vivienda y barrio en el centro de Santiago por parte de usuarios que planean arrendar un departamento (Balbontin, 2013). También para analizar la valoración de las características que ofrece el entorno de un vecindario que promueven el caminar como medio de transporte por parte de sus residentes (Larrañaga et al, 2016)

2.6.3 BW Caso 3

Esta aplicación consiste en la elección secuencial de las mejores y peores opciones dentro de un conjunto de alternativas que varía entre cada elección de tal forma que el modelador pueda encontrar el ranking completo de las preferencias de los individuos hacia ciertos objetos. Una forma común de aplicar este tipo de encuestas es donde el individuo debe elegir la primera mejor opción, luego la segunda mejor y así consecutivamente hasta llegar a la peor (Balbontin, 2013).

El caso 3 ha sido implementado para estudiar la valoración de las preferencias de atributos en el mercado de manzanas orgánicas (Adamsem 3013) y en el mercado de los vinos para

medir la influencia de la información de la contra etiqueta en la elección de los consumidores (Mueller 2010).

En el presente estudio, los modelos de elección discreta son usados como base para estimar los coeficientes de las funciones de utilidad de cada una de las alternativas y sus probabilidades de elección. Estos modelos estiman la probabilidad de elección para distintas alternativas en función de una serie de características o atributos que las definen. Se supone que cada individuo q tiene una función utilidad U_{iq} definida para cada alternativa A_i . La teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974) asume que los individuos se comportan de manera racional, es decir, eligen la alternativa que maximiza su utilidad. Ortúzar y Willumsen (2011) establecen que:

El nivel de utilidad de cada alternativa es una combinación que se define a partir de sus atributos, en que cada uno es ponderado de acuerdo a su importancia relativa. La función de utilidad tiene dos componentes: una representativa o medible (V_{iq}), que se encuentra en función de los atributos del bien mostrado y que a su vez pueden variar entre individuos; y una componente aleatoria (ε_{iq}). Esta componente aleatoria puede representar posibles variaciones en los gustos particulares de cada individuo y también posibles errores de medición y/u observación por parte del modelador:

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (4)$$

La representación de la función de utilidad como una función lineal de los parámetros es la manera más simple y popular de representar la parte sistemática de esta función:

$$V_{iq} = \sum \theta_{ik} x_{ikq} \quad K \quad k = 1 \quad (5)$$

Donde θ_{ik} es un parámetro a estimar que se asume constante para todos los individuos, pero puede variar entre alternativas A_i . x_{ikq} representa el atributo k -ésimo de la alternativa A_i para el individuo q . De acuerdo a lo anteriormente explicado, se asume que el individuo elige la opción que le reporta un mayor nivel de utilidad, por lo que elegirá la alternativa A_i si y sólo si su utilidad es mayor que el de las otras alternativas (A_j):

$$U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A_{(q)} \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación número 4 en la ecuación número 6, se obtiene que el individuo q elegirá la alternativa A_i si:

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad \forall A_j \in A_{(q)} \quad (7)$$

Solo se puede estimar la probabilidad de elegir A_i como se tiene en la ecuación número 8, ya que el modelador desconoce los componentes de error y por lo tanto no es capaz de determinar si el individuo efectivamente elegiría dicha opción y si no se conoce la distribución de los errores de las alternativas, no es posible obtener una expresión analítica para el modelo.

$$P_{iq} = Prob\{\varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + V_{iq} - V_{jq}, \forall A_j \in A_{(q)}\} \quad (8)$$

En la presente investigación se tratará el efecto panel (EP) inherente a que se tienen múltiples observaciones por tramo (es decir, cada tramo de vía puede ser evaluado por diferentes evaluadores) mediante modelos logit mixto de componentes de error. Goett et al. (2000) define que entre las ventajas del modelo ML se tiene que permite agregar heterogeneidad en las preferencias individuales, así como correlación entre alternativas. Las formulaciones más comunes de este modelo son la de componentes de error (EC), y la de coeficientes aleatorios (RC). En esta investigación sólo será utilizada la primera, por lo que a continuación se profundiza algo más en su formulación.

En el modelo EC la función de utilidad por una parte determinística (V_{iq}) y un componente aleatorio que distribuye distribuye *IID Gumbel* $(0, \sigma^2)$ y un segundo término aleatorio η_{iq} con una distribución a especificar

$$U_{iq} = V_{iq} + \eta_{iq} + \varepsilon_{iq} = \sum \theta_{ik} x_{ikq} + \eta_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (9)$$

Este modelo agrega una segunda componente aleatoria η_{iq} a la función de utilidad del MNL, que permite representar diversos efectos de interés, como correlación entre alternativas o entre las respuestas de los mismos individuos (efecto panel), entre otras (Arellana, 2012).

2.6.4 Estimación de probabilidad de elección en modelos *best and worst*

De acuerdo a Marley et al. (2005) las probabilidades de observar que una alternativa sea elegida como *best* o como *worst* pueden estimarse utilizando un modelo logit multinomial. Si el conjunto de alternativas a evaluar es mayor o igual a dos, si se denota a $B_X(x)$ como la probabilidad de que la alternativa x sea elegida como *best* en el conjunto de alternativas X , y si se denota $W_X(y)$ como la probabilidad de que la alternativa y sea escogida como peor en X , las probabilidades de elección en una encuesta BW se pueden expresar como:

$$B_X(x) = \Pr(U_x = \max_{z \in X} U_{iq}) \quad (10)$$

$$W_X(x) = \Pr(U_y = \min_{z \in X} U_{iq}) \quad (11)$$

Entonces:

$$B_X(x) = \frac{e^{V_{iq}}}{\sum e^{\sum V_{iq}}} \quad (12)$$

$$W_X(x) = \frac{e^{-e^{V_{iq}}}}{\sum e^{-\sum V_{iq}}} \quad (13)$$

3 METODOLOGIA

A continuación se describe la metodología implementada para la recopilación de la información, el diseño del instrumento utilizado para la recolección de la información y las técnicas estadísticas utilizadas para analizar los datos de las encuestas.

El estudio inició evaluando el estado del arte del concepto de serviciabilidad, los factores de influencia en la valoración de la calidad de los pavimentos, las metodologías implementadas para medir el concepto de serviciabilidad y el papel que juega la percepción del usuario sobre la calidad de una vía. Luego de la revisión bibliográfica se implementó el procedimiento secuencial descrito en la figura 4.

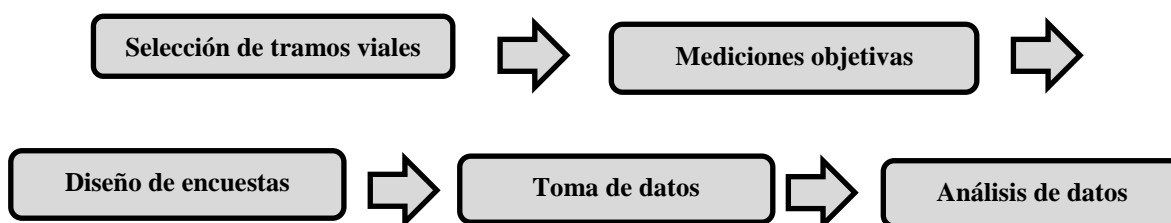


Figura 4: Representación de la metodología aplicada en la investigación (Elaboración propia)

3.1 Selección de tramos viales

Se realizó un proceso de selección que permitió una discriminación objetiva de los diferentes tramos de vía a ser evaluados. Los tramos viales a ser estudiados incluyen gran variedad de parámetros físicos que cuantifican la integridad estructural y la condición funcional de las vías, así como la interacción de estos parámetros. Dentro de los criterios tenidos en cuenta en la selección fueron tipo de pavimento, longitud, tráfico, composición de tráfico, demarcación, estratos socioeconómicos de los lugares en los que se encuentra la vía, entre otros.

Se seleccionaron 107 tramos de la red vial de Barranquilla. Para todos los tramos seleccionados se cuenta con al menos una calificación subjetiva de un evaluador, a partir de la cual se aplicaron las encuestas de percepción. Sin embargo, las mediciones objetivas de la calidad del pavimento y la determinación de las fallas sólo se realizaron sobre 91 tramos. Los tramos seleccionados cubren diferentes sectores del área metropolitana de la ciudad, con usuarios de diferentes estratos socioeconómicos (ver figura 5).

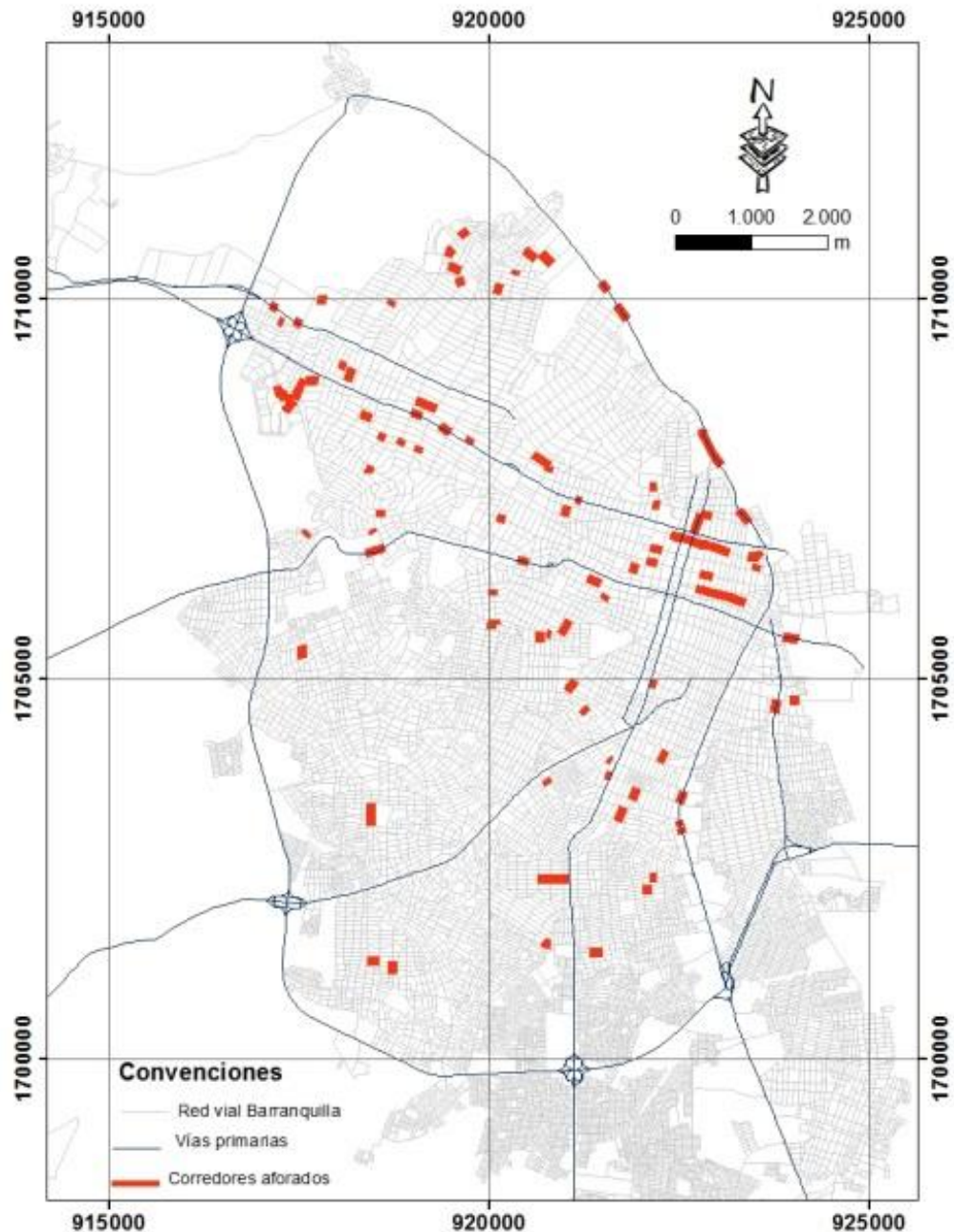


Figura 5 Distribución de los tramos seleccionados sobre la ciudad de Barranquilla (Elaboración propia)

La longitud promedio de los tramos seleccionados es cercana a los 120 metros. El 75% de los tramos son en pavimento rígido, el 10% corresponde a pavimentos flexibles, el 10% a adoquines, y el 5% restante a una combinación de diferentes tipos de pavimentos (flexible/rígido, adoquín/rígido).

En cuanto a la composición del tráfico, se tuvieron en cuenta tramos por los cuales transitaran buses e incluso alguno de los cuales transitaran camiones con el fin de poder obtener la percepción de diferentes tipos de conductores.

3.2 Mediciones objetivas

Se realizaron mediciones de IRI y de diferentes tipos de daño en el pavimento de acuerdo a la metodología PCI con el fin de realizar comparaciones a futuro con los resultados obtenidos de los análisis estadísticos.

En 91 de los tramos viales seleccionados se realizaron mediciones objetivas del Índice de Rugosidad del pavimento (IRI) usando el equipo SURPRO. También se realizaron mediciones de diferentes tipos de daños del pavimento usando la metodología de PCI. Las mediciones fueron llevadas a cabo por un panel de 8 miembros entrenados quienes recorrieron todos los segmentos seleccionados.

Cabe aclarar que estas mediciones objetivas fueron realizadas en el marco de un estudio de mayor alcance y no serán tenidas en cuenta en la presente investigación. Las mediciones de PCI solo se implementaron en esta investigación para conocer la presencia de los diferentes tipos de daño en los tramos y con ello realizar un mejor proceso de modelación.

3.3 Diseño de encuestas

Para esta etapa se realizó el siguiente procedimiento:

- Diseño inicial de los formularios de encuesta teniendo en cuenta la revisión del estado arte y la práctica.
- Realización de pruebas piloto de los formularios a diferentes tipos de conductores con el fin de garantizar que estas capten verdaderamente las variables de interés. En esta etapa se realizaron ajustes con el fin de garantizar que el formulario realmente capturara la información requerida por el estudio.
- Encuestas aplicadas tanto a los diferentes tipos de conductores de vía como a personas previamente seleccionadas e instruidas en el proceso evaluativo de la calidad de una vía. La capacitación de paneles evaluadores ha mostrado grandes beneficios en los procesos evaluativos de la calidad de una vía.

Se diseñaron dos instrumentos para la toma de datos. El primero recopiló información acerca del usuario encuestado. El segundo buscaba capturar la percepción de los diferentes tipos de usuarios acerca del estado funcional y transitabilidad de las vías. Antes de obtener los instrumentos definitivos se realizaron dos pruebas piloto. Durante los procesos de encuesta piloto se recolectó información proveniente de conductores de vehículo particular, de servicio público como buses y taxis y de camiones.

3.3.1 Primera parte de la encuesta:

En la primera encuesta (Anexo 1) se recopiló información socioeconómica del encuestado: edad, sexo, estrato socioeconómico, nivel de escolaridad alcanzado y la experiencia de conducción del evaluador. Para el nivel de escolaridad se implementó una escala el 1 al 5 donde las opciones fueron:

1. Primaria
2. Bachiller
3. Técnico/Tecnólogo
4. Universitario
5. Postgrado

La experiencia del evaluador estaba relacionada con el tiempo que llevaba conduciendo el encuestado. La escala implementada fue la siguiente:

1. Menos de un año
2. Entre 1 y 3 años
3. Entre 4 y 10 años
4. Entre 10 y 20 años
5. Más de 20 años

Además, se midió la percepción de los conductores respecto a 19 afirmaciones relacionadas con su comportamiento al conducir (ver tabla 4).

Tabla 4: Afirmaciones que miden el comportamiento de los conductores

No.	Afirmación
1	Manejar a mayor velocidad hace que sienta menos los huecos en la vía
2	Pasar por una vía en mal estado podría generarme problemas de salud
3	La mayoría de las vías en Barranquilla deben ser reparadas
4	Si una vía tiene un hueco considero que está en mal estado
5	Si voy de afán no me doy cuenta de los huecos existentes en la vía
6	Si voy escuchando música o hablando siento la vía más cómoda
7	Prefiero no pasar por vías que se encuentren en mal estado
8	Me incomoda la presencia de vendedores cuando paso por una vía
9	La basura me hace tener una imagen negativa de la vía
10	No me importa pasar por vías en mal estado si hay pocos carros en estas
11	Cuando conduzco me importa más los paisajes de los alrededores que el estado de la vía
12	Las imperfecciones de la vía podrían hacerme cometer infracciones de tránsito
13	Las vías de Barranquilla son aptas para ser recorridas
14	El transitar por ciertas vías, altera mi estado de ánimo
15	Una vía desgastada (rugosa) es igual de mala que una vía llena de huecos
16	Al pasar por vías en mal estado estoy propenso a sufrir un accidente
17	Las autoridades realizan su mejor esfuerzo para mantener las vías en buen estado
18	Me da lo mismo el estado de las vías en la ciudad
19	Si siento que el carro brinca o golpea cuando conduzco entonces la vía está mala

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Segunda parte de la encuesta

Con el segundo instrumento se midió la percepción de la experiencia específica de los conductores al transitar sobre los tramos de vía seleccionados. En esta encuesta cada usuario calificó la calidad de la superficie de rodadura en una escala de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno. Además, se determinó el grado en que está dispuesto a aceptar las condiciones del pavimento a través de la siguiente pregunta dicotómica: ¿Considera que el tramo de vía debe ser reparado?

La segunda encuesta también fue utilizada para recopilar información acerca de cuáles son aquellos daños en el pavimento que impactan en mayor y menor proporción la calificación de una vía por parte de los usuarios mientras transitan por esta. Para realizar el diseño de esta herramienta, fue necesaria la ayuda de expertos en pavimentos, quienes suministraron información acerca de los tipos de daño más comunes, y luego con la ayuda de un panel evaluador conformado por conductores de diferentes tipos de vehículo, se codificó siguiendo una terminología informal para que fuera de fácil comprensión para las personas a encuestar. En la tabla 5 se muestra la terminología formal e informal para cada tipo de daño evaluado.

A través de la actividad con el panel evaluador fue posible detectar una característica superficial muy común en las vías de la ciudad de Barranquilla. En algunas vías de esta ciudad se encuentran residuos sobrantes de mezclas de concreto realizadas sobre las vías y que afectan la rugosidad del pavimento. Por tal motivo este fenómeno fue incluido dentro de los factores que pueden influir en la calificación de los individuos y se le denominó informalmente como *residuos de cemento*. Como resultado de las pruebas piloto, también se detectó que las altas pendientes en las vías afectan la percepción de la calidad de la vía por parte del usuario. Por lo anterior también se incluyó dentro de las alternativas con el nombre informal de *lomas*.

Sólo para el caso de aquellos pavimentos que no presentan ningún tipo de daño ni característica superficial particular, para facilidad del encuestador y el encuestado se hizo necesario incluir opciones que reflejaran esta condición dentro del formulario las cuales fueron: *no tiene hueco* y *no tiene parches*.

Para conocer la importancia de cada atributo dentro de la calificación realizada, se formularon dos preguntas con múltiples alternativa de respuesta (ver formulario de encuesta - Anexo 2). El usuario debía solamente escoger una opción dentro de las disponibles, basados en la importancia que tiene dicha alternativa para la calificación que le otorgó a la vía. Las opciones presentadas a los usuarios fueron:

- 1 Huecos / No tiene huecos
2. Losas partidas
3. Hundimiento o desnivel
4. Grietas
5. Residuos de cemento
6. Parches / No tiene parches
7. Vía plana o sin lomas

Tabla 5: Terminología formal e informal de los tipos de daños del pavimento

Terminología informal	Terminología formal
Grietas	Piel de cocodrilo
	Agrietamiento en bloque
	Grieta de borde
	Grieta de reflexión de junta
	Grieta long y transversal
	Grieta parabólica (slippage)
	Grieta de esquina
	Grieta de durabilidad "D"
	Grieta lineal
	Desconchamiento
	Retracción
	Descascaramiento de esquina
	Descascaramiento de junta
Huecos	Huecos
	Desprendimiento de agregados
	Blow up / buckling
Hundimiento o desnivel	Exudación
	Abultamientos y hundimientos
	Corrugación
	Depresión
	Desnivel carril / berma
	Cruce de vía férrea
	Ahuellamiento
	Desplazamiento
	Escala
	Desnivel carril / berma
	Cruce de vía férrea
Losas partidas	Losa dividida
	Punzonamiento
Parches	Parcheo
	Parcheo (grande)
	Parcheo (pequeño)

Fuente: Elaboración propia

Dado que a partir de las pruebas piloto se detectó que los usuarios no solamente tenían en cuenta los daños en el pavimento al momento de calificar las vías, sino que percibían otros factores relacionados con sus condiciones, se decidió incluir dos preguntas respecto a otros factores que pueden incidir en la calificación del estado de la vía, aparte del estado del pavimento. Los factores que se incluyeron en las preguntas fueron:

1. Demarcación del pavimento
2. Señalización
3. Obstáculos
4. Ancho de la vía
5. Trafico
6. Iluminación

Cada encuestador preguntó a los usuarios cuál de los factores adicionales incluidos le gusto más y cuál menos al momento de transitar por la vía que acababan de evaluar.

Las muestras de las 2 pruebas piloto de las encuestas fueron de 34 y 46 conductores de diferentes tipos de vehículo (vehículo particular, taxi y bus) respectivamente. Cabe aclarar que tanto las pruebas piloto como las encuestas definitivas estuvieron a cargo del mismo panel de encuestadores entrenados.

3.4 Toma de datos

Para realizar las encuestas en los buses primero se seleccionaron únicamente los tramos por los cuales estos transitan. Estos tramos corresponden al 33% de los tramos seleccionados. Para el caso de camiones se seleccionaron aquellos tramos por los cuales está permitido el paso de vehículos pesados y se contactó con una empresa dedicada al transporte de carga para que permitiera realizar el estudio con sus conductores.

Para el caso de los conductores particulares, estos fueron personas del común que se invitó a participar telefónicamente. Para el caso de los conductores de taxis, estos fueron seleccionados aleatoriamente por los miembros del panel evaluador. Cabe aclarar, que las evaluaciones se realizaron a una velocidad inferior a los 60km/hr, que es la velocidad límite permitida en vías urbanas en Colombia.

3.5 Análisis de datos

La información obtenida de la toma de datos fue depurada para verificar su consistencia, y en algunos casos fue necesario contactar nuevamente a las personas encuestadas con el fin de verificar cierta información. La primera etapa de análisis de datos consistió en un análisis estadístico descriptivo de las observaciones obtenidas para ambas encuestas. La segunda etapa, comprendió la aplicación secuencial de técnicas estadísticas multivariadas (análisis factorial y análisis clúster) con el fin de agrupar a los individuos de acuerdo a sus percepciones, características y actitudes al conducir.

Se utilizó el software SPSS para realizar el AF exploratorio. El AF exploratorio permitió encontrar el número óptimo de variables latentes a utilizar y descartar variables que resultaron ser poco significativas. Luego, se testeó la coherencia de las variables latentes encontradas de acuerdo al juicio e hipótesis previa de los investigadores vinculados al proyecto y se probó la significancia estadística mediante un AF confirmatorio desarrollado en el software Mplus (Muthén et.al, 1998-2012).

Posterior al AF se realizó un análisis clúster para identificar grupos potenciales con características similares de acuerdo a las variables latentes encontradas. El análisis clúster permitió segmentar los usuarios en categorías diferentes para evaluar si existen diferencias significativas entre sus calificaciones PSR. El análisis clúster se realizó en el software Statgraphics, usando el método del vecino más cercano y como criterio de agrupación para las observaciones, la distancia euclidiana al cuadrado entre las variables latentes encontradas en el AF.

Por último, el análisis de las encuestas *Best and worst* para determinar la influencia tanto daños del pavimento como de factores inherentes a la vía en la aceptación y calificación de la misma por parte de los usuarios, se realizó mediante el software Biogeme. Además, cabe aclarar que se tuvo en cuenta los resultados de los análisis de pertenencia de los individuos a los grupos obtenidos en el análisis clúster.

4 ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS USUARIOS DE VIAS URBANAS: APLICACIÓN DE ANALISIS MULTIVARIADO

4.1 Análisis estadísticos descriptivos de la muestra de conductores

Las características de los individuos que evaluaron el estado de las vías son las siguientes:

- El 100% de los encuestados son colombianos. 71% de ellos nacieron en Barranquilla.
- El 92% de los encuestados son hombres, con una edad promedio cercana a los 37 años. La mayoría de personas encuestadas se encuentran entre 31 y 50 años de edad (48% del total de la muestra) tal como se muestra en la Figura 6.

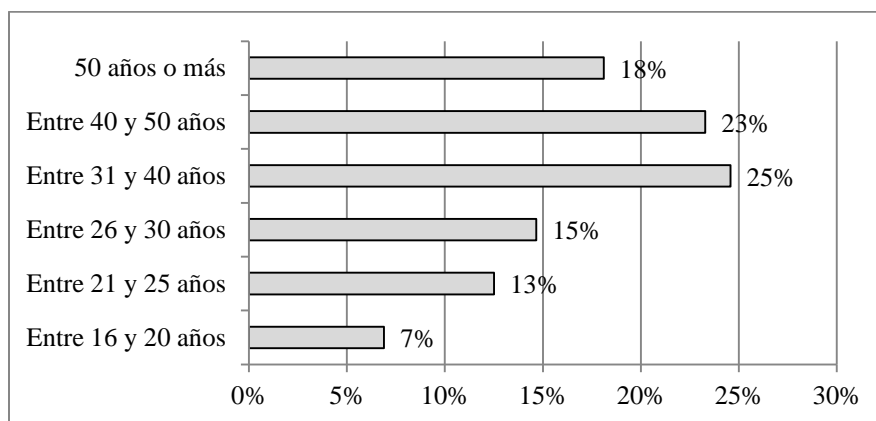


Figura 6. Porcentajes de edad de la muestra de individuos encuestados (Elaboración propia)

- Los encuestados pertenecen en mayor proporción a estratos socioeconómicos 2 y 3 (55% del total de conductores encuestados). Ver distribución por estrato socioeconómico en la figura 7.

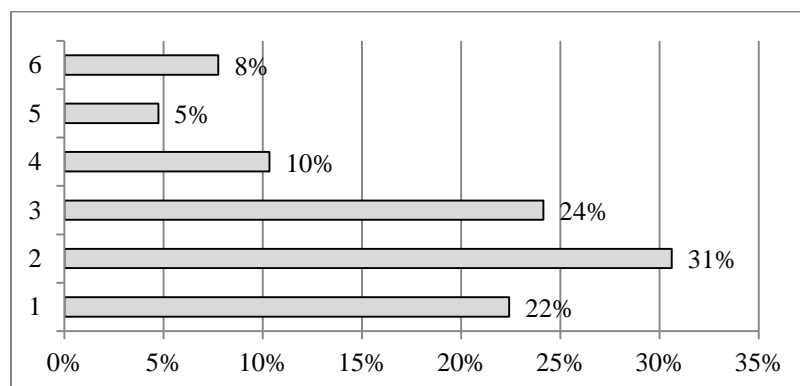


Figura 7 Estrato socioeconómico de la muestra encuestada (Elaboración Propia)

La distribución que sigue el estrato de la muestra encuestada, no representa la distribución de la población objetivo, esto se debe a que la mayoría de los individuos que participaron en la toma de datos fueron conductores de buses y camiones pertenecientes en su mayoría a estratos 1 y 2.

- En cuanto al nivel de escolaridad (ver figura 8), cerca del 33% posee estudios superiores (técnicos o profesionales). También se evidencia que un 58% de la muestra estudiada ha realizado estudios hasta bachillerato, representando casi la mayor parte de los conductores que participaron en esta investigación.

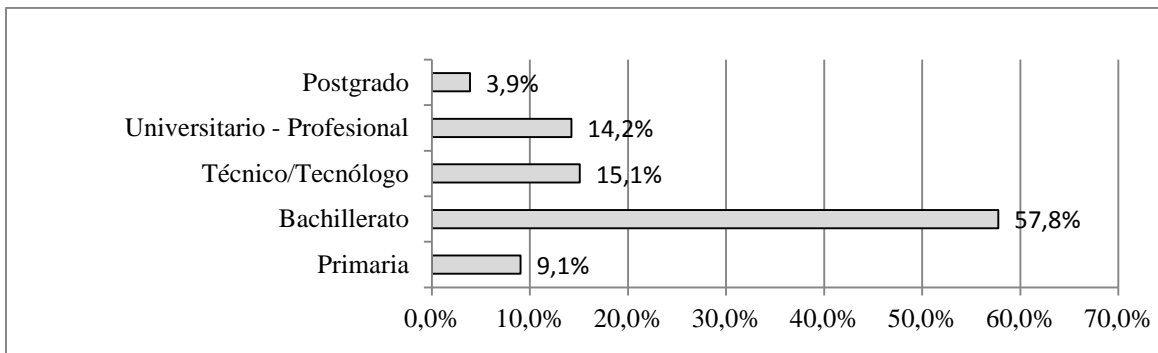


Figura 8 Nivel de escolaridad de la muestra encuestada (Elaboración Propia)

- Respecto a la experiencia en la conducción, el 20% tiene menos de 3 años, el 32% posee entre 4 y 10 años de experiencia, mientras que el porcentaje restante declaró tener más de 10 años conduciendo (ver figura 9).

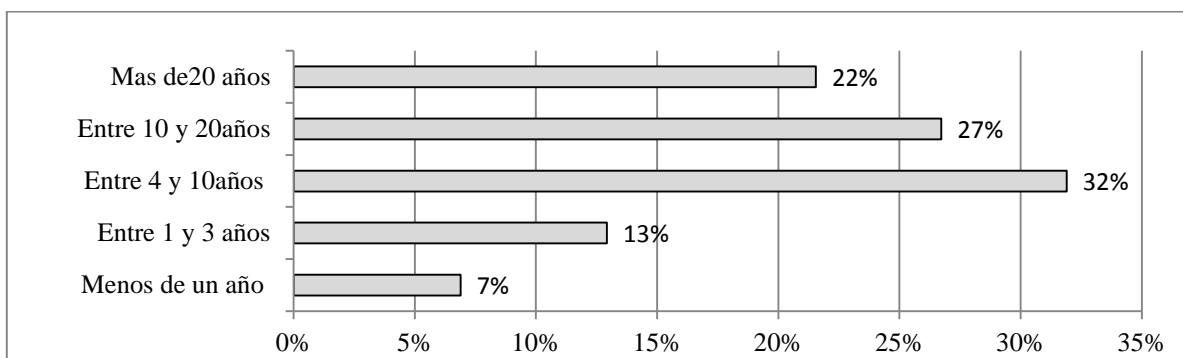


Figura 9 Antigüedad al conducir de la muestra encuestada (Elaboración propia)

4.2 Análisis Factorial Exploratorio

4.2.1 Operacionalización de las variables

Antes de proceder con el análisis de datos es necesario realizar en primera medida la operacionalización de las variables. Inicialmente se definen las variables en función de factores medibles llamados indicadores. En la operacionalización de las variables se realiza una definición conceptual de las variables para que no exista duda ni ambigüedades.

Después de esto se procede a definir operacionalmente las variables para identificar los indicadores que permitan su medición de forma cuantitativa.

Inicialmente las 19 variables relacionadas con el comportamiento de los conductores (definidas en la tabla 4) fueron codificadas de acuerdo a la definición que se presenta en la tabla 6. Cabe aclarar que todas las variables son de naturaleza cuantitativa y su valor corresponde al grado de acuerdo o desacuerdo con la afirmación en particular, medida a través de una escala tipo *Likert* con valores entre 1 y 5.

Tabla 6: Operacionalización de variables relacionadas con comportamiento de los conductores

Variable	Definición
V1	Capacidad para asumir riesgos
V2	Prevención de enfermedades
V3	Inclinación hacia la reparación de la vía
V4	Exigencia de la calidad de las vías
V5	Atención que le presta el usuario al estado de la vía
V6	Distracción
V7	Precaución
V8	Intolerancia al prójimo
V9	Intolerancia al mal ambiente
V10	Preferir vías despejadas
V11	Importancia del entorno
V12	Propenso a cometer infracción
V13	Aceptación de la vía
V14	irritabilidad
V15	Condición que define el mal estado de la vía
V16	cuidado de la integridad física
V17	Opinión acerca de la labor realizada por las autoridades públicas en las vías
V18	Interés por el estado de la vía
V19	Relación de la reacción con el estado de la vía

Fuente: Elaboración propia

Con el fin reducir el número de variables correspondientes al comportamiento de los conductores y agruparlas en variables latentes representativas, se realizó un análisis factorial en primera instancia exploratorio usando el paquete estadístico SPSS. Antes de correr el análisis, se verificaron las condiciones previas de aplicación de la técnica sobre los datos de las variables antes descritas utilizando los argumentos y las pruebas que se exponen a continuación.

4.2.2 Correlación de las variables

Para que tenga sentido utilizar este método, es necesario que entre las variables originales se presente una alta correlación porque de lo contrario no tendría sentido aplicar la técnica. Para medir la correlación se utilizara el Índice KMO (Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin) que es un cociente entre los coeficientes de correlación observados y los coeficientes de correlaciones parciales de las variables originales (Díaz et al., 2013; UCM, 2010).

El estadístico KMO varía entre 0 y 1. Valores pequeños de este estadístico indican que el *Análisis Factorial* puede no ser adecuado dado que las correlaciones entre los pares de variables no pueden ser explicadas por otras variables. Un índice KMO menor que 0,5 indica que no debe utilizarse el AF con los datos muestrales que se están analizando. Si es mayor que 0,5 se concluye que hay correlación y por lo tanto el AF es aplicable (UCM, 2010).

A pesar que Díaz (2007) manifiesta que no existe una estadística con la que se pueda probar la significancia de esta medida, de todas maneras presenta algunos diagnósticos de adecuación de los datos de acuerdo con el valor de la estadística de KMO (ver tabla 7). Con base en ellos expone que lo deseable para los propósitos del AF es tener un valor alto del índice KMO y aunque recomienda una medida mayor o igual que 0,80, agrega que una medida por encima de 0,60 es tolerable.

Tabla 7: Medida de Índice KMO vs diagnósticos de adecuación

Medida de KMO	Recomendación
$\geq 0,9$	Excelente
0,8	Meritorio
0,7	Bueno
0,6	Medio Bueno
0,5	Regular
$< 0,5$	No procedente

Fuente: Díaz, 2007

4.2.3 Prueba de esfericidad de Bartlett

Mediante esta prueba es posible observar si la matriz de correlación es igual a la matriz idéntica (I), o si el determinante de la matriz es 1, en cuyo caso no existirían correlaciones significativas y no tendría sentido aplicar el AF. Un determinante muy bajo indicará altas correlaciones entre las variables (Díaz et al., 2013).

A su vez, la prueba de Esfericidad de Bartlett supone normalidad multivariada y según el documento de la UCM (2010), asumiendo que los datos provienen de una distribución normal multivariada, el estadístico de Bartlett se distribuye aproximadamente según el modelo de probabilidad *Chi-cuadrado* y es una transformación del determinante de la matriz de correlaciones. Si el nivel crítico es mayor que 0,05, no se puede rechazar la

hipótesis nula de esfericidad y consecuentemente, no se puede asegurar que el modelo factorial sea adecuado para explicar los datos.

$$H_0: \text{Las variables son independientes} \quad \text{ó} \quad H_0: = I \quad \text{ó} \quad H_1: |R| = 1$$

$$H_1: \text{Las variables no son independientes} \quad \text{ó} \quad H_1: \rho \neq I \quad \text{ó} \quad H_1: |R| \neq 1$$

Para efectos de lograr un resultado más robusto, con una mayor muestra, en la presente investigación para la aplicación del AF exploratorio se utilizaron las bases de datos obtenidas de las dos pruebas piloto realizadas y la del estudio definitivo. En consecuencia, se trabajó con una base de datos de 232 individuos. Tabla 8 muestra los resultados de la aplicación de las pruebas mencionadas anteriormente.

Tabla 8: Resultado de Índice de KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,617
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	577,65
	Grados de libertad	171
	Significancia	,000

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la tabla anterior podemos observar que el valor del KMO es de 0,617, mayor que 0,5, por lo que puede existir correlación entre cada una de las variables y de acuerdo a Díaz (2007), la aplicación del AF es viable. Por otro lado, el valor del estadístico de Bartlett es de 577,6, siendo este mayor al valor del estadístico chi cuadrado para un 95% de confianza que es de 267,454. De lo anterior se decide rechazar la hipótesis nula de que las variables son independientes y se corrobora que el AF puede ser aplicado.

4.2.4 Matriz de correlación

Para verificar si existe alta correlación entre las variables se debe observar si existen valores mayores a 0,3 en la matriz de correlación, (si existen valores mayores a 0,3) y si el determinante es muy cercano a cero. En la matriz de correlación de las variables (Anexo 3) se observa que existen varias variables correlacionadas con coeficientes mayores a 0,3; sin embargo, el determinante de esta matriz es 0,076. A partir de lo anterior, podría considerarse que es un valor muy cercano a cero, por lo que se concluye que las variables están correlacionadas y que hay probabilidad de que existan factores comunes subyacentes. En conclusión, se ratifica la viabilidad de la aplicación del AF.

4.2.5 Comunalidades

Las comunalidades corresponden a la suma de los pesos factoriales al cuadrado de cada variable. Se llama comunalidad entonces a la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable y que vienen dados en la matriz de componentes denominada también matriz factorial o matriz de cargas (Uriel et al., 2005).

De acuerdo con UCM (2010), existen varios métodos para seleccionar el modelo factorial que será utilizado para estimar las saturaciones de las variables en los factores. Estos métodos difieren tanto en el algoritmo de cálculo como en la matriz que será analizada (se asume que la matriz seleccionada es la matriz de correlaciones). Entre los distintos métodos encontramos: componentes principales, mínimos cuadrados no ponderados, mínimos cuadrados generalizados, máxima verosimilitud y ejes principales, por nombrar los principales procedimientos.

El más conocido es el método de componentes principales, el cual fue utilizado en este trabajo. Cuando se aplica el método de componentes principales para la extracción de factores, la comunalidad de la extracción inicial de cada variable es igual a 1.

Tabla 9 Comunalidades obtenidas con 7 variables latentes.

	Inicial	Extracción
V1	1	0,42
V2	1	0,534
V3	1	0,384
V4	1	0,707
V5	1	0,5
V6	1	0,705
V7	1	0,58
V8	1	0,58
V9	1	0,584
V10	1	0,583
V11	1	0,478
V12	1	0,559
V13	1	0,623
V14	1	0,694
V15	1	0,635
V16	1	0,481
V17	1	0,52
V18	1	0,607
V19	1	0,735

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se puede observar que la mayoría de las comunalidades luego de la extracción de 7 variables latentes son mayores que 0,5, por lo tanto se consideraron todas las variables para el análisis. Luego se probaron diferentes modelos factoriales con 6, 5 y 4 variables latentes. Finalmente se tuvo en cuenta aquel que agrupa a todas los factores en tres variables latentes. A continuación se muestran las comunalidades del modelo factorial seleccionado, que correspondió al de 3 variables latentes. Como se observa estas disminuyeron considerablemente en comparación a las obtenidas para el primer modelo con 7 variables latentes.

Luego de obtenidas las comunalidades, se procedió a analizar la varianza total explicada de conformidad con la información del Anexo 4. Como resultado se obtuvo que los factores seleccionados por el paquete, explican un 75,86% de la variabilidad total de los datos originales. Dado el valor de las comunalidades, las variables 1, 5, 13 y 19 no se tuvieron en cuenta para el análisis.

Tabla 10: Comunalidades obtenidas con 3 variables latentes.

	Inicial	Extracción
V1	1	0,345
V2	1	0,498
V3	1	0,371
V4	1	0,361
V5	1	0,449
V6	1	0,467
V7	1	0,542
V8	1	0,384
V9	1	0,364
V10	1	0,479
V11	1	0,422
V12	1	0,437
V13	1	0,492
V14	1	0,248
V15	1	0,257
V16	1	0,421
V17	1	0,38
V18	1	0,443
V19	1	0,226

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Matriz de estructura factorial

Esta matriz recoge las ponderaciones de cada uno de los factores en cada una de las variables, y estos al ser ortogonales también representan la correlación entre las variables y factores. El valor propio de cada factor es igual a las sumas de las cargas factoriales correspondientes a cada factor. Se debe tener en cuenta que la matriz cambia de denominación de acuerdo al método de extracción elegido (UCM, 2010). Para efectos de este estudio se denomina matriz de componentes ya que componentes principales fue el método de extracción seleccionado. Uriel et al. (2005) afirman que cuando los modelos para los factores estimados no revelen su significado debe realizarse rotación de factores.

Los factores comunes obtenidos en este estudio no poseen una interpretación clara, por lo que no permite analizar adecuadamente las interrelaciones existentes entre las variables

originales. Teniendo en cuenta lo anterior, fue necesario aplicar un método de rotación. El criterio de rotación utilizado fue el *varimax* y esta convergió luego de 5 iteraciones hasta obtener la matriz de componentes rotados que se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Matriz de componentes rotados

	Componente		
	1	2	3
V2	0,675	0,029	-0,031
V3	0,533	-0,204	0,011
V4	0,53	0,104	0,102
V6	0,07	0,205	0,392
V7	0,196	-0,172	-0,633
V8	0,147	0,42	-0,516
V10	0,088	-0,141	0,749
V11	-0,016	0,642	0,305
V12	0,384	-0,441	0,163
V14	0,507	-0,003	-0,079
V15	-0,152	-0,347	0,011
V16	0,482	-0,429	-0,08
V17	-0,029	0,608	-0,078
V18	-0,327	0,539	0,248
V9	0,597	0,039	-0,086

Fuente: Elaboración propia

Al analizar las ponderaciones de cada uno de los factores teniendo como criterio que estas fueran mayores a 0,5 se obtuvo que las tres variables latentes estaban conformadas por las variables que se muestran en la tabla 12.

4.3 Análisis factorial Confirmatorio

Los resultados obtenidos anteriormente reducen la dimensionalidad de las variables recopiladas mediante la encuesta y las expresan en tres variables latentes. Sin embargo al someter este resultado a un AF confirmatorio utilizando el software Mplus, los resultados que se obtuvieron no fueron tan satisfactorios. Por tal motivo se tomó la decisión de realizar de acuerdo a criterios propios y con la ayuda de los resultados obtenidos en este análisis factorial exploratorio una nueva agrupación de variables que daba como resultado solamente dos variables latentes.

Tabla 12: resultado de Análisis Factorial Exploratorio

3 factores (Varimax)		
Factores	Variables	Nombre del factor
1	V2 Prevención de enfermedades	Exigencia y preocupación por la calidad de las vías
	V9 Intolerancia al mal ambiente	
	V3 Inclinación hacia la reparación de la vía	
	V4 Exigencia de la calidad de las vías	
	V14 Irritabilidad	
	V16 Cuidado de la integridad física	
2	V18 Imparcialidad en la importancia del estado de la vía	Mayor importancia a los alrededores que a la vía
	V17 Opinión acerca de la labor realizada por las autoridades públicas en las vías	
	V11 Importancia del entorno	
3	V7 Cambio de ruta por mal estado de las vías	Poco interés por el estado de las vías
	V8 Intolerancia al prójimo	
	V10 Preferir vías despejadas sin importar su estado	

Fuente: Elaboración propia

Del AF confirmatorio se obtuvieron dos factores que explican la percepción de los usuarios respecto al estado de las vías. Como medida de bondad de ajuste del modelo factorial se utilizó el RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) o error cuadrático medio de aproximación. Esta es una medida que evalúa si el modelo se ajusta aproximadamente bien a la población y se estima a partir del error de discrepancia de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \sqrt{\max \left\{ \left[\frac{F(S \sum(\theta))}{df} - \frac{1}{N-1} \right], 0 \right\}} \quad (14)$$

Donde

$F(S \sum(\theta))$ Es el mínimo de la función de ajuste

$df = s - t$ Es el número de grados de libertad

N es el tamaño de la muestra

De acuerdo a Schermelleh et al. (2003) los valores $RMSEA \leq 0,05$ se puede considerar como un buen ajuste, los valores entre 0,05 y 0,08 como un ajuste adecuado, los valores entre 0,08 y 0,10 como una forma mediocre, y los valores $> 0,10$ no son aceptables. Aunque existe un acuerdo general de que el valor de RMSEA para un buen modelo debe ser inferior a 0,05, Hu y Bentler (1999) sugieren un RMSEA inferior a 0,06 como criterio de corte.

La bondad de ajuste del AF confirmatorio resultó satisfactoria pues se obtuvo un RMSEA de 0,012 ($RMSEA \leq 0,05$). La composición de los factores así como los resultados de estimación junto a su significancia estadística se presentan en la tabla 13.

Tabla 13: Resultados del análisis factorial Confirmatorio

Factor	Afirmación (Descripción)		Est.(Sig.)
Preocupación por la calidad de las vías	V2	Pasar por una vía en mal estado podría generarme problemas de salud (Prevención de enfermedades)	0,468 (6,25)
	V3	La mayoría de las vías en Barranquilla deben ser reparadas (Inclinación hacia la reparación de la vía)	0,454 (6,28)
	V4	Si una vía tiene un hueco considero que está en mal estado (Exigencia de la calidad de las vías)	0,303 (3,90)
	V9	La basura me hace tener una imagen negativa de la vía (Intolerancia al mal ambiente)	0,459 (6,31)
	V12	Las imperfecciones de la vía podrían hacerme cometer infracciones de tránsito (Propenso a cometer infracción)	0,420 (5,57)
	V16	Al pasar por vías en mal estado estoy propenso a sufrir un accidente (Cuidado de la integridad física)	0,603 (8,50)
Menor importancia acerca del estado de las vías	V5	Si voy de afán no me doy cuenta de los huecos existentes en la vía (Atención que le presta el usuario al estado de la vía)	0,424 (4,82)
	V6	Si voy escuchando música o hablando siento la vía más cómoda (Distracción)	0,252 (2,73)
	V11	Cuando conduzco me importa más los paisajes de los alrededores que el estado de la vía (Importancia del entorno)	0,502 (6,39)
	V18	Me da lo mismo el estado de las vías en la ciudad (Imparcialidad en la importancia del estado de la vía)	0,599 (6,91)

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis del conjunto de variables pertenecientes a cada factor, se llegó a la conclusión de que un factor describe a todas aquellas variables que miden el grado de preocupación y de importancia que tiene el estado de las vías para los conductores. El otro factor agrupa variables que describen el grado de importancia que puede tener para los conductores agentes externos a la vía, que captan la atención de las personas al momento de conducir, y puede alterar la importancia que se le otorga al estado del pavimento.

Los resultados del AF confirmatorio muestran que todas las variables incluidas dentro de los factores resultaron ser significativas a un 95% de confianza (Valor entre paréntesis en la tabla 3 mayor a 1,96). Para el primer factor, la variable que más aporta es la preocupación que tienen los usuarios al percibir que la mala calidad del pavimento puede incrementar la probabilidad de sufrir accidentes por la vía. En el caso del segundo factor, la variable de mayor peso factorial es la relacionada con la indiferencia que expresan los usuarios respecto a la calidad de las vías, denotando poca preocupación por la calidad de sus pavimentos.

4.4 Análisis clúster

El análisis clúster por individuo fue realizado a partir de los dos factores latentes encontrado en el AF confirmatorio. Para la implementación de esta técnica se utilizó el software *Statgraphics Centurion*. El método escogido fue *K-means clustering* y se establecieron dos conglomerados para clasificar a los encuestados. Como medición de la distancia se tomó la distancia euclidiana al cuadrado y se estandarizaron los coeficientes.

Entre los dos conglomerados resultantes; uno, reúne principalmente a los conductores que se preocupan por el estado de las vías y se encuentran interesados en su mantenimiento y reparación. El otro conglomerado, está compuesto por aquellos individuos que reportaron otorgar menor importancia al estado del pavimento ya que las condiciones del entorno y la conducción pueden influenciar sus percepciones.

De los 137 encuestados en la encuesta final, el 55% de ellos (75 individuos) pertenecen al primer clúster, mientras que el 45% restante al segundo (62 individuos). Al realizar una comparación de las variables socioeconómicas de los integrantes de cada conglomerado (ver tabla 14), se encontró que las únicas variables relacionadas con los individuos que presentaban diferencias eran el sexo del conductor y la experiencia de los individuos conduciendo.

Tabla 14: Características de los individuos pertenecientes a cada grupo

Variable	Clúster 1		Clúster 2	
	Cantidad	% respecto al total	Cantidad	% respecto al total
% Livianos	42	54%	36	46%
% Pesados	33	56%	26	44%
Más de 10 años	41	60%	27	40%
Entre 4 y 10 años	19	48%	21	53%
Menos de 4 años	15	52%	14	48%
Estudios de postgrado	4	57%	3	43%
Estudios secundarios	29	57%	22	43%
Estudios primarios	42	53%	37	47%
Estratos 1 y 2	36	55%	29	45%
Estratos 3 y 4	27	54%	23	46%
Estratos 5 y 6	12	55%	10	45%
Barranquilla	47	48%	50	52%
Femenino	7	64%	4	36%
Edad promedio (desviación estándar)	37,27 (11,75)		36,02 (11,87)	
PSR promedio (desviación estándar)	3,44 (0,91)		3,43 (0,83)	
Aceptación promedio (desviación estándar)	0,42 (0,201)		0,59 (0,264)	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se muestra que un 64% del total de mujeres entrevistadas se encuentra dentro del grupo de personas que se preocupan por el estado de las vías, sugiriendo que las personas de sexo femenino son más sensibles a los pavimentos en peores condiciones que los de sexo masculino, quienes al parecer suelen ser más tolerantes. Por otra parte, las personas que poseen mayor experiencia conduciendo se encuentran dentro del primer grupo, siendo estos un 60% del total de conductores. Lo anterior sugiere que los conductores más experimentados son más sensibles a la calidad de los pavimentos en las vías que aquellos que poseen pocos años conduciendo.

Otro resultado interesante presentado en la tabla 14, es el relacionado con los valores promedios obtenidos por cada grupo para el puntaje PSR y la aceptación de la calidad de la superficie de las vías. Teniendo en cuenta los promedios para cada conglomerado, se puede concluir que el indicador de aceptación promedio presenta mayor variabilidad que el del PSR medido en una escala entre 1 y 5. El PSR no presenta diferencias significativas entre grupos, mientras que la variable de aceptación sí. Se observa que las personas pertenecientes al grupo 2 tienden a tener mayor tolerancia en promedio para vías en peores condiciones que los del otro grupo. El anterior resultado puede explicarse porque las

percepciones de las personas del segundo conglomerado pueden estar afectadas por atributos del entorno o del viaje.

Con el objetivo de evaluar si existen diferencias significativas entre los dos grupos hallados respecto al grado de tolerancia al estado de las vías (medidos a través de la variable aceptación), se realizó una prueba de medias para muestras con varianzas diferentes. El resultado confirma que la diferencia entre las dos medias es estadísticamente diferente de cero (ver tabla 15).

Tabla 15: Prueba de medias para variable aceptación

	Clúster 1	Clúster 2	Diferencia de medias	
Observaciones	75	62	Diferencia hipotética de las medias	0
Grados de libertad	74	61	Grados de libertad	122
F	0,76		Estadístico t	-2,06
P($F \leq f$) una cola	0,13		P($T \leq t$) dos colas	0,04
Valor crítico para F (una cola)	0,67		Valor crítico de t (dos colas)	1,98

Fuente: Elaboración propia

Los resultados anteriores sugieren que al momento de seleccionar evaluadores para medir el índice de serviciabilidad en las vías debe tenerse en cuenta los años de experiencia que estos llevan manejando y el género. Estas variables pueden influenciar en las percepciones de los usuarios y por tanto en cómo valoran el pavimento de una vía. También, de los resultados anteriores puede inferirse que al momento de obtener una evaluación global del estado de una vía debe tenerse en cuenta la potencial heterogeneidad en las preferencias de los usuarios, puesto que los promedios algunas veces absorben dichos efectos.

5 PRESENTACION Y ANALISIS ESTADISTICO DE LA MUESTRA DE TRAMOS: ANALISIS BEST-WORST

5.1 Presentación de los datos

Para analizar la importancia de las potenciales fallas presentes en un pavimento, se evaluó la percepción de los daños presentes en cada uno de los tramos seleccionados usando la técnica *best-worst*. Cada conductor en cada tramo de pavimento evaluado seleccionó aquella falla o elemento dentro de la vía que tuvo mayor y menor incidencia dentro de la calificación realizada, a través de la segunda parte de la encuesta. Las percepciones de mayor o menor incidencia en la calificación de los tramos evaluados fueron agrupadas en una base de datos, la cual fue inicialmente depurada con el fin de que estas fueran consistentes con el estado de los pavimentos evaluados y el inventario de fallas realizado a cada segmento vial.

A partir del proceso de depuración, se eliminaron el 2,62% de las observaciones sobre tramos que tenían alguna medición objetiva. Un aspecto a resaltar es que dentro del proceso de depuración no se tuvo en cuenta la severidad de los daños sino solamente su disponibilidad. Lo anterior, podría explicar el hecho de tener tramos con buenas valoraciones pero con un cierto número de fallas reportadas. Ciertas fallas tal vez pueden pasar desapercibidas por el usuario al momento de generar una evaluación del tramo. Es así como existen tramos con calificaciones de 5 (muy buena) y 4 (buena) pero con más de 3 daños reportados. Los tramos de vía que si se eliminaron fueron aquellos evaluados como 1 (muy malo) ó 2 (malo), y que no contenían ninguna falla reportada durante la evaluación objetiva.

Para facilitar la toma de datos por parte de los encuestadores, dentro de los formularios de encuesta se adicionaron las alternativas “no tiene hueco” y “no tiene parches”. Dentro del proceso de análisis, estas alternativas fueron fusionadas con las alternativas “hueco” y “parches” respectivamente puesto que lo que se desea encontrar en el presente estudio es la importancia de la presencia o ausencia de estas fallas dentro de la calificación de un tramo. Es decir, un tramo puede obtener una buena calificación (4 ó 5) y el factor más importante es la ausencia de parches sobre la vía. Por el contrario, otro tramo puede obtener una mala calificación (1 ó 2) pero debido a que tenía muchos parches.

La manera como se distribuyen las calificaciones promedio sobre cada uno de los tramos de vía evaluados nos entrega una idea de la heterogeneidad de la calidad de los pavimentos dentro de las vías evaluadas dentro del presente estudio. En la figura 10 se muestra que el 51% de los tramos en promedio fueron calificados como buenos, un 10% fueron considerados en promedio como muy buenos, un 27% como regulares y un 11% de los tramos fueron considerados como poco transitables por parte de los usuarios. A pesar que los porcentajes anteriores sugieren que la mayoría de tramos se encuentran en buen estado, al preguntarles a los evaluadores si los tramos evaluados debían ser reparados, sólo en el 58% de los casos consideraron que no debían sufrir ninguna intervención.

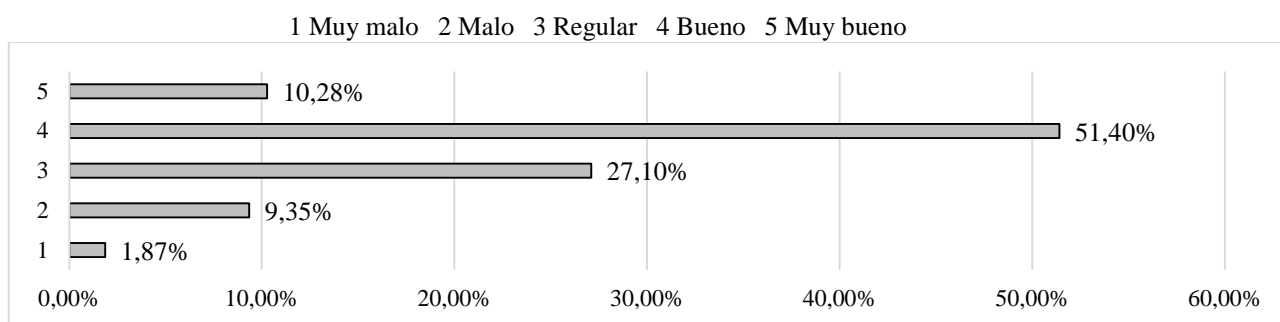


Figura 10: Porcentaje de tramos evaluados vs calificación promedio (Elaboración propia)

Al analizar todas las evaluaciones dentro del estudio (es decir, obviando que algunas calificaciones corresponden al mismo tramo) se obtuvo un resultado similar al anteriormente encontrado al realizar el análisis por evaluación promedio por tramo. En la figura 11 se muestra que el 46% de las observaciones fueron buenas, 14% corresponde a calificaciones muy buenas, 28% a calificaciones regulares, y un 12% fueron calificaciones malas. A partir de estos resultados se concluye que un 88% de las observaciones corresponden a tramos considerados como transitables por los usuarios encuestados. Lo anterior, coincide con la opinión de que el 60% de los tramos totales evaluados no deben ser sujetos a reparación.

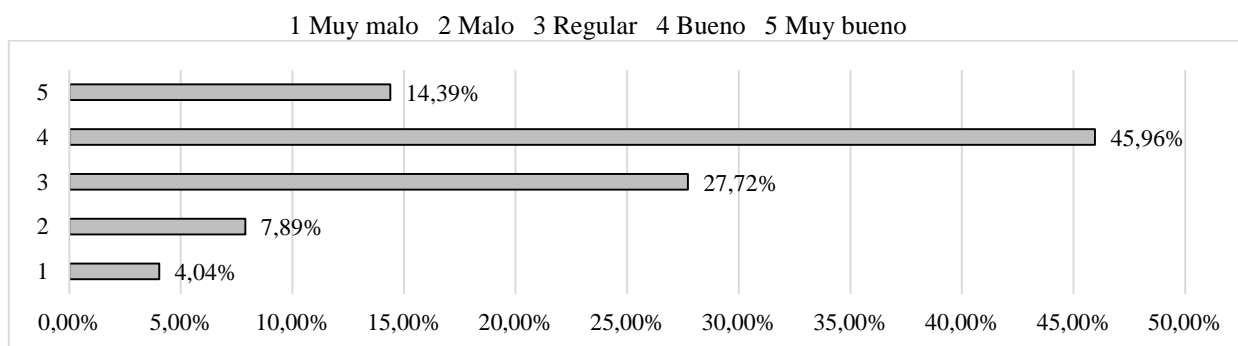


Figura 11: Porcentaje de observaciones vs calificación (Elaboración Propia)

Para conocer cuáles son aquellas características del pavimento que influyeron en las calificaciones dadas por los individuos encuestados a los tramos de vía evaluados se puede revisar las veces que un atributo o falla fue escogido como el más relevante. En la figura 12 se muestra que en el 58% de las observaciones el factor que influyó en la calificación dada por los usuarios fue huecos, seguido de hundimiento o desnivel con un 10% de las observaciones, y grietas con un 9%. Residuos de cemento fue el factor que obtuvo el menor porcentaje de observaciones, siendo este el menos tenido en cuenta por los conductores al momento de calificar la vía.

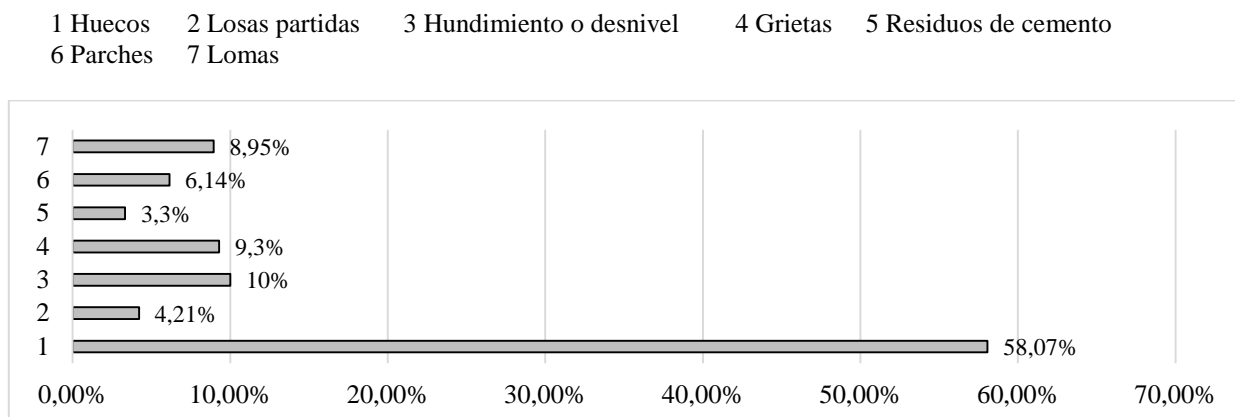


Figura 12: Porcentaje de observaciones vs característica del pavimento que más influyó en su calificación (Elaboración propia)

Durante la primera prueba piloto, los evaluadores manifestaron que la presencia o ausencia de fallas en los pavimentos no era lo único que ellos consideraban al momento de evaluar la calidad del servicio que ofrece una vía. Otros factores relacionados con las condiciones de la vía, tales como la demarcación del pavimento, la señalización, y el tráfico, entre otros, también pueden condicionar las calificaciones. Dado lo anterior, se decidió incluir algunas otras características de las vías dentro de segundo formulario de encuesta utilizado en el estudio.

Las figuras 13 y 14 contienen la distribución porcentual de los factores que tienen mayor y menor influencia en la calidad del servicio que ofrecen las vías de acuerdo al juicio de los evaluadores. Cabe recordar que dentro de los factores que se incluyen en estas figuras, no se considera la calidad del pavimento. El 32% de las observaciones de los usuarios sugieren que el ancho de la vía es el factor más relevante al momento de evaluar su calidad de servicio. La cantidad de tráfico sobre la vía fue considerado como el segundo factor más importante, dado que el 25% de observaciones consideraron este factor como el más importante. También, resulta importante mencionar que en el 4,91% de las observaciones no se reportó preferencia alguna sobre los factores estudiados, en su mayoría correspondientes a valoraciones de tramos en muy mal estado. Por otra parte, los evaluadores indicaron que en el 27% de los tramos calificados, el factor que más les molestaba era la pobre demarcación del pavimento, seguido del alto flujo de tráfico, que fue seleccionado el 23% de las ocasiones.

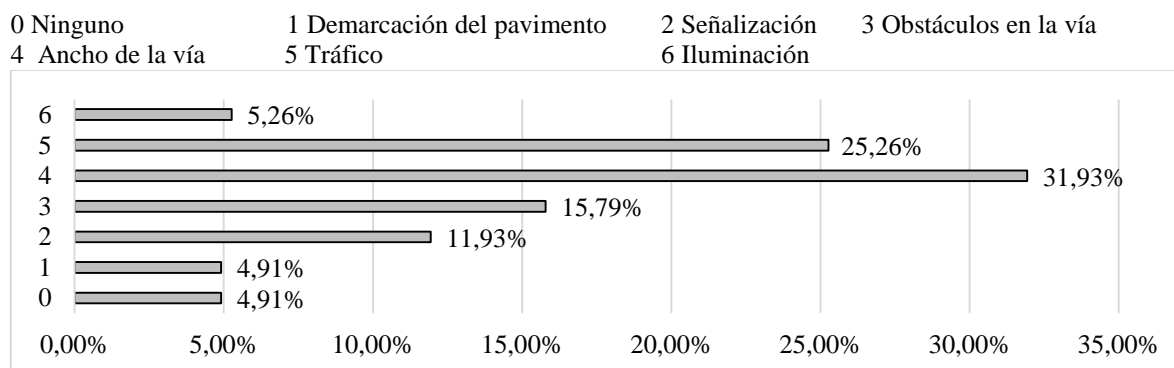


Figura. 13 Porcentaje de observaciones vs factor que más gusto de la vía (Elaboración Propia)

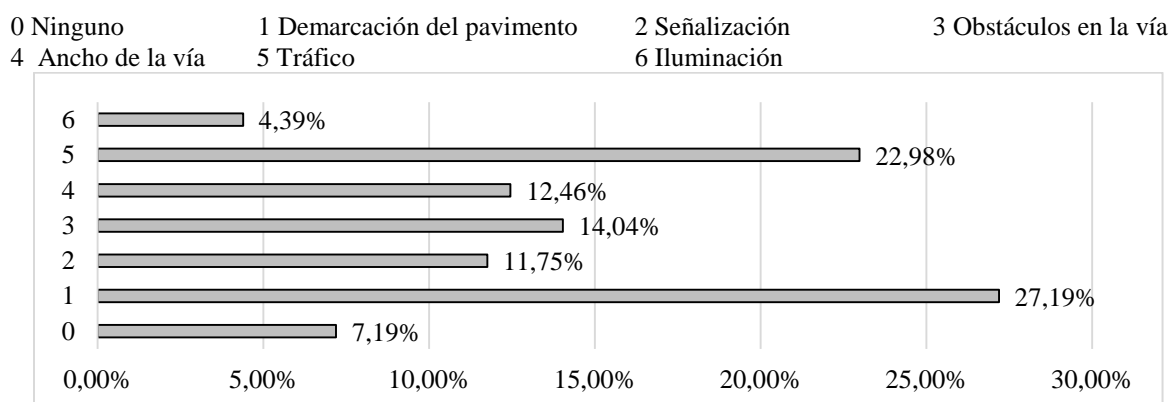


Figura. 14 Porcentaje de observaciones vs factor que menos gusto de la vía (Elaboración propia)

El factor iluminación fue muy pocas veces seleccionado como el más importante al momento de realizar la evaluación, lo cual se debe, a juicio de la autora, a que las encuestas fueron recopiladas en horas diurnas, y tuvo que ser evaluado típicamente basados en la presencia de luminarias en la vía.

5.2 Análisis de modelos *Best-Worst*

Para analizar la influencia de los factores estudiados en la presente tesis respecto a la calificación que otorgan los usuarios a la calidad de las vías urbanas, se usó la técnica *best-worst*. Se estimaron modelos diferentes para todos los tramos, para tramos considerados en buen estado (evaluación 3, 4 ó 5), para aquellos calificados como en mal estado (evaluación 1 ó 2) y la clasificación de individuos considerando los análisis clúster descritos en el capítulo 4.

Debido a que un mismo tramo de vía pudo ser evaluado por diferentes individuos, es decir se contaba con múltiples respuestas por tramo, los modelos incorporaron el efecto panel para considerar la posible correlación entre las respuestas de un mismo tramo. La mayoría de los modelos presentados en esta sección se estimaron con el software *Biogeme*.

5.3 Análisis de la importancia de las fallas del pavimento

En la estimación de la importancia de las fallas del pavimento, se consideró la respuesta del individuo respecto a la presencia o ausencia de la falla que mayor influencia había tenido en la calificación del pavimento realizada por el evaluador. Además, dentro de la modelación también se tuvo en cuenta aquellas fallas del pavimento que el individuo no consideró relevante al calificar la vía. Las fallas que el evaluador declaró que no eran relevantes pueden estar asociadas a que pasaron desapercibidas o simplemente no fueron consideradas importantes al momento de evaluar el tramo de vía. Aquella falla que el individuo declaró como no relevante fue descartada dentro del conjunto de alternativas disponibles como opciones de respuesta. Por último, es importante mencionar que para fines de modelación, la falla “hueco” fue fijada como base para la estimación de los modelos para determinar la importancia de las fallas dentro de la valoración de los pavimentos evaluados.

5.3.1 Modelo general de importancia de las fallas de pavimentos considerando todos los tramos

Los efectos principales asociados a la importancia de cada falla dentro de la valoración de los pavimentos fueron estimados a partir de un modelo *logit* de sólo constantes. Es decir, cada constante estimada representa la valoración relativa respecto a la falla de referencia.

Al estimar el modelo de sólo constantes considerando la totalidad de las observaciones obtenidas, se obtuvo un ρ^2 de 0,305. Todos los coeficientes además son significativamente diferentes de cero, rechazando la hipótesis nula $\theta_k=0$, teniendo en cuenta un nivel de significancia de 0,05. Los resultados de estimación para este modelo se presentan en la tabla 16.

Tabla 16: Resultado del modelo de importancia de fallas del pavimento

Factor	Coefficiente	Test-t robusto	Valor-P
Desnivel	-2,04	-10,08	0,00
Grietas	-1,99	-9,32	0,00
Huecos	0,00	0,00	0,00
Losas Partidas	-2,91	-13,68	0,00
Parches	-2,34	-10,25	0,00
Residuos de Cemento	-3,05	-9,09	0,00
Alta pendiente	-2,05	-10,86	0,00

Fuente: Elaboración propia

El hecho de que todos los coeficientes estimados tengan signo negativo. Sugiere que los huecos representan la falla más relevante para el individuo. Siguiendo la misma idea de análisis, el valor más negativo representa el atributo o falla menos valorada dentro del conjunto analizado. En este caso, los residuos de cemento sobre la vía fueron los menos valorados. Lo anterior podría deberse al hecho de que este fenómeno es poco percibido por los usuarios al momento de evaluar las vías.

Siguiendo a Marley et al. (2005) y con el fin de realizar una jerarquización de la importancia de las fallas considerando una escala entre 0 y 1, se calcularon las probabilidades de elección de cada elemento evaluado como se muestra a continuación:

$$\Pr(U_x) = \frac{e^{U_x}}{\sum_{j \in J} e^{U_j}} \quad (15)$$

Siendo U_j la función de utilidad para la alternativa j que pertenece al conjunto de alternativas de elección J . El subíndice x denota una alternativa específica dentro del conjunto de elección J .

Las probabilidades de elección de los diferentes daños del pavimento se muestran en la tabla 17. Como era de esperarse, los daños más representativos dentro de la valoración de la calidad del pavimento según los usuarios encuestados son los huecos (probabilidad del 63%). Encontrar las losas del pavimento partidas los residuos de cemento sobre la vía resulta menos grave para los individuos en la valoración del estado de un pavimento que encontrar otros daños. Dado que la probabilidad de elegir esos daños como los más importantes es sólo del 3% para cada caso puede concluirse que estos son 18,4 veces menos importantes que los huecos.

Tabla 17: Probabilidades de elección modelo general fallas del pavimento

Factor	Pr(U_x)
Huecos	0,63
Grietas	0,09
Desnivel	0,08
Alta pendiente	0,08
Parches	0,06
Losas Partidas	0,03
Residuos de Cemento	0,03

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la terminología formal podría concluirse que los huecos, desprendimientos de agregados y *Blow up / buckling* son los daños que influyen mayormente en la calificación que un individuo otorga al pavimento. Por su parte los diferentes tipos de grietas, el desconchamiento, la retracción los descascaramientos de esquina, los descascaramientos de junta, y las altas pendientes resultan ser aproximadamente 7,32 veces menos importantes que los huecos. Por su parte, los diferentes tipos de parcheos son 10,4 veces menos importantes que los huecos. El anterior análisis también se realizó tanto en tramos de pavimentos calificados como buenos (es decir calificaciones de 5, 4 y 3) como en aquellos considerados malos con el fin de identificar potenciales diferencias en la valoración de daños respecto a la calidad de la superficie.

5.3.2 Análisis de la importancia de daños en tramos calificados como buenos

Los tramos calificados como muy buenos, buenos y regulares, corresponden a 502 secciones de vía. La estimación del modelo de sólo constantes usando esta muestra arrojó un ρ^2 de 0,316 donde todos los coeficientes son significativamente diferentes de cero. Tanto los resultados de la estimación de este modelo como las probabilidades de elección para cada tipo de daño como el más significativo se muestran en la tabla 18.

Tabla 18: Resultado del modelo de características del pavimento para tramos buenos y sus Probabilidades de elección

Factor	Coefficiente	Test-t robusto	Valor-P	Pr(U_x)
Huecos	0,00	0,00	0,00	0,62
Alta pendiente	-1,90	-10,78	0,00	0,09
Grietas	-1,94	-8,89	0,00	0,09
Desnivel	-2,04	-10,63	0,00	0,08
Parches	-2,17	-9,90	0,00	0,07
Losas Partidas	-3,10	-11,54	0,00	0,03
Residuos de Cemento	-3,28	-8,71	0,00	0,02

Fuente: Elaboración propia

En estos tramos, la ausencia de huecos en el pavimento fue el factor que más incidió para que los individuos calificaran como bueno el segmento de vía bajo evaluación. En su orden, las bajas pendientes y la poca presencia de grietas también incidieron positivamente en que el pavimento fuera considerado en buen estado, aunque la ausencia de estas características de la vía pueden considerarse aproximadamente 6,7 veces menos importantes que los huecos. Quizás el resultado más importante a partir de este análisis está relacionado con la jerarquización de daños, pues esta resulta ser muy similar a la del modelo general que considera todos los tramos evaluados.

5.3.3 Análisis para tramos calificados como malos

Los tramos calificados como malos corresponden a 68 segmentos de vía. La estimación del modelo de sólo constantes usando esta muestra arrojó un ρ^2 de 0,407 con todos los coeficientes significativamente diferentes de cero. Los resultados de estimación de este modelo junto con las probabilidades de elección para cada tipo de daño se muestran en la tabla 19.

En los tramos calificados como malos, la presencia de huecos en la vía continúa siendo el factor más influyente para la calificación obtenida. A pesar que a partir de la evaluación objetiva de los tramos, un 90% de ellos poseen grietas de diferentes tipos, desconchamiento, retracción y descascaramiento de esquina o de junta, la probabilidad de que estos daños sea la más influyente dentro de la calificación es sólo del 8%. Lo anterior puede explicarse porque tal vez la severidad de otros daños puede restar importancia a estos tipos de daños.

Tabla 19: Resultado del modelo de características del pavimento para tramos malos

Factor	Coefficiente	Test-t robusto	Valor-P	P(u)
Huecos	0,00	0,00	0,00	0,62
Desnivel	-1,80	-3,06	0,00	0,10
Losas partidas	-1,89	-3,30	0,00	0,09
Residuos de Cemento	-1,99	-2,63	0,00	0,08
Grietas	-2,04	-3,23	0,00	0,08
Alta pendiente	-20,2	-45,96	0,01	0,00
Parches	-20,3	-44,67	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Los daños de los pavimentos relacionados con desniveles (exudación, abultamientos, hundimientos, corrugación etc.), losas partidas, y residuos de cemento en promedio son 6,7 veces menos importantes que los huecos para tramos en mal estado. Las altas pendientes y los parches son los factores que pasaron totalmente desapercibidos para los usuarios al momento de calificar una vía como mala teniendo un 0% de probabilidad de elección. Lo anterior podría explicarse dado a que en un pavimento en mal estado hay presencia de daños severos fácilmente percibidos por los usuarios y que le restan importancia a estos factores al calificar la vía.

Para efectos de estudiar si los resultados de la importancia relativa de los daños se mantienen invariantes respecto a la calidad del pavimento se realizó una prueba de diferencia de proporciones entre los resultados obtenidos para vías en buen estado y mal estado. A partir de los resultados se puede concluir que a un nivel de confianza del 95%, no se logran obtener diferencias significativas entre las proporciones de ambos modelos tal como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20: Estadístico de diferencia de proporciones de acuerdo a la evaluación del pavimento

Factor	P(Z)
Huecos	0,00
Alta pendiente	0,33
Grietas	0,03
Desnivel	-0,05
Parches	0,30
Losas Partidas	-0,19
Residuos de Cemento	-0,21

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Modelos de importancia de fallas considerando grupos de individuos con diferencias de percepción

Con el fin de determinar si existen diferencias en la percepción de las fallas por parte de los individuos categorizados respecto al grado de tolerancia al estado de las vías se estimaron modelos diferentes considerando la pertenencia de los individuos a los conglomerados obtenidos mediante el análisis clúster realizado en el capítulo anterior. La cantidad de observaciones por clúster correspondió a 290 y 280 respectivamente. La bondad de ajuste medida a través del índice ρ^2 fue de 0,315 y 0,294 para cada modelo, encontrando que todos los coeficientes fueron significativamente diferentes de cero al 5% de significancia. Los resultados de estimación de los dos modelos estimados se presentan en la tabla 21.

Tabla 21: Modelos de importancia de características del pavimento para diferentes grupos de usuarios respecto a tolerancia de la calidad de las vías

Nombre	Clúster 1 – Preocupados por la calidad de las vías			Clúster 2 – Más tolerantes a vías en mal estado		
	Coefficiente	Test-t robusto	Valor-P	Coefficiente	Test-t robusto	Valor-P
Desnivel	-1,91	-8,91	0	-2,16	-8,17	0
Grietas	-1,94	-7,83	0	-2,03	-6,84	0
Huecos	0	0	0	0	0	0
Losas Partidas	-2,92	-8,69	0	-2,88	-9,5	0
Parches	-2,14	-8,03	0	-2,54	-8,6	0
Residuos de Cemento	-3,47	-7,44	0	-2,77	-6,63	0
Alta Pendiente	-2,06	-8,04	0	-2,04	-7,57	0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de calcular las probabilidades de elegir cada tipo de daño como el más significativo en los tramos evaluados por cada grupo de individuos se muestra en la tabla 22.

Tabla 22: Probabilidades de elección modelos para clúster de evaluadores respecto a tolerancia de la calidad de las vías

Factor	Clúster 1	Clúster 2	P(Z)
Huecos	0,62	0,64	-0,02
Desnivel	0,09	0,07	0,05
Grietas	0,09	0,08	0,02
Lomas	0,08	0,08	0,00
Parches	0,07	0,05	0,06
Losas Partidas	0,03	0,04	-0,04
Residuos de Cemento	0,02	0,04	-0,09

Fuente: Elaboración propia

En ambos grupos, y al igual que los modelos previamente estimados en este capítulo, se observa que la ausencia o presencia de huecos en el pavimento resulta ser el daño de mayor relevancia al momento de realizar la valoración de la calidad de tramos de vía a nivel urbano. Si bien se observan que las probabilidades de elección para cada falla o característica de la vía no son idénticas para los dos modelos, los valores resultan ser bastante similares. Al realizar una prueba de diferencia de proporciones entre las dos muestras se puede concluir que a un nivel de confianza del 95% no se logran obtener diferencias significativas entre las proporciones de ambos modelos. Lo anterior sugiere que independientemente de la percepción de tolerancia respecto a la calidad de la vía de los individuos, la valoración de las fallas y/o características de las vías resulta ser consistente entre grupos.

6 Modelos *Best-Worst* para características relacionadas con las condiciones de las vías

De acuerdo a Marley y Louviere (2005) una manera de analizar los datos provenientes de una encuesta *best-worst* del caso 1, consiste en calcular las diferencias entre la cantidad de veces que una alternativa fue escogida como la mejor menos las que fué escogida como peor. Estas diferencias representan los “puntajes BW”, los cuales al ser ordenados de mayor a menor, corresponden a un ranking de preferencias de las alternativas evaluadas. El resultado de este ejercicio usando los datos de este estudio se presenta en la tabla 23. Al calcular los puntajes BW se obtiene que el ancho de la vía resulta ser el factor más importante para los conductores, seguido por los factores relacionados con el tráfico y los obstáculos sobre la vía.

Tabla 23: Puntaje B-W de factores relacionados con las condiciones de la vía

Factor	Puntaje B-W
Ancho de la vía	111
Trafico	13
Obstáculos	10
Iluminación	5
Señalización	1
Demarcación	-127

Fuente: Elaboración propia

Para conocer la medida del grado de impacto en la percepción de los usuarios de las características evaluadas se estimaron modelos *logit*. Los modelos de elección discreta utilizados permitieron estimar el efecto marginal de cada característica de la vía. Se consideró cada característica presentada como una alternativa de elección disponible, y a cada una se le representó por una constante. Es decir, el modelo de elección se formuló con J-1 constantes, siendo J el número de atributos presentados.

En la tabla 24 se presentan los resultados de estimación del modelo de sólo constantes, usando sólo aquellos factores considerados como los más atractivos para los conductores al momento de transitar por una vía. En total, la muestra estaba compuesta por 542 observaciones y se obtuvo un ρ^2 de 0,112. Todos los coeficientes resultaron ser significativamente diferentes de cero a un nivel de significancia del 5%.

El ancho de la vía resultó ser el factor más atractivo para los conductores con un 36% de probabilidad de elección, seguido del tráfico con un 29% de probabilidad. Este resultado evidencia la preferencia de los conductores hacia las vías anchas y con poco tráfico. Por otro lado la ausencia de obstáculos en la vía y una buena señalización poseen un 14% de probabilidad de elección. La iluminación y la demarcación de las vías mostraron ser factores que fueron considerados como poco influyentes en la evaluación de los usuarios. Los resultados anteriores sugieren que los conductores tienden a valorar más aquellos factores presentes en la vía que permiten reducir su tiempo de viaje más que aquellos relacionados con la seguridad vial.

Tabla 24: Resultado del modelo de las características consideradas más atractivas de las condiciones de las vías

Factor	Coeficiente	Test-t robusto	Valor-P	P(u)
Ancho de la vía	2,83	5,46	0,00	0,36
Trafico	2,60	5,11	0	0,29
Obstáculos	2,13	5,46	0	0,14
Señalización	1,85	3,83	0	0,14
Iluminación	1,03	2,01	0,04	0,06
Demarcación	0,00			0,02

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos relacionados con aquellos factores menos atractivos para los usuarios, también se estimó un modelo *logit* de sólo constantes. En este caso, las constantes fueron formuladas dentro de los modelos con signos negativos. Lo anterior para representar que la presencia de una característica o falla particular no maximiza la utilidad del individuo sino que por el contrario maximiza su desutilidad. En total se utilizaron 529 observaciones y se obtuvo un ρ^2 de 0,070. Todos los coeficientes resultaron ser significativamente diferentes de cero con un 95% de confianza, a excepción del factor tráfico. Que el tráfico no sea significativamente diferente de cero puede interpretarse como que un alto flujo vehicular es igual de mal visto que la vía no este demarcada. Los resultados de este modelo se muestran en la tabla 25.

Tabla 25: Resultado del modelo de las características consideradas menos atractivas de las condiciones de las vías

Factor	Coeficiente	Test-t robusto	Valor-P	P(U)
Demarcación	0			0,3
Trafico	-0,179	1,20	0,23	0,25
Obstáculos	-0,672	3,86	0,00	0,15
Ancho de vía	-0,791	3,87	0,00	0,13
Señalización	-0,849	5,39	0,00	0,13
Iluminación	-1,84	6,47	0,00	0,05

Fuente: Elaboración propia

Con un 30% y 25% de probabilidad de elección la demarcación del pavimento y el tráfico fueron los factores considerados como los más influyentes por los usuarios de las vías. Le siguieron en su orden, la presencia de obstáculos con un 15% de probabilidad de elección. La iluminación fue el factor que las personas menos eligieron al momento de analizar los factores que menos les gustan a los evaluadores de una vía, siendo esta 6,3 veces menos importante que la demarcación.

Swait y Louviere (1993 y 1996) determinaron que a partir de graficas con los coeficientes obtenidos de los resultados de modelos estimados con diferentes fuentes de datos es posible probar la homogeneidad de gustos entre los individuos. Basados en el supuesto de homogeneidad de gustos, y con el fin de determinar si es posible juntar los datos

provenientes de las respuestas de los factores considerados más y menos atractivos, se graficaron los coeficientes obtenidos a partir de los modelos *logit* en un plano X vs Y (ver figura 15).

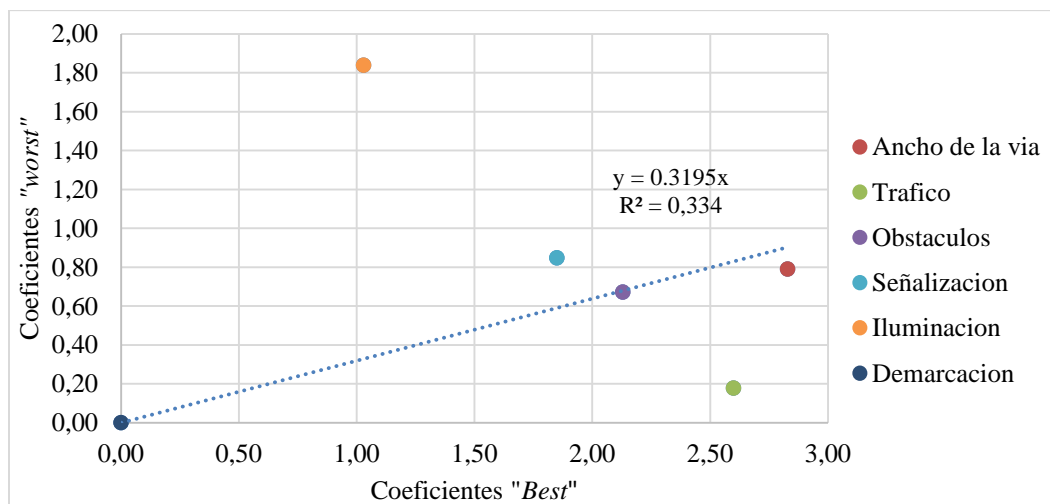


Figura. 15 Sensibilidades (pendientes) de modelo BW (Elaboración propia)

Dado que la mayoría de datos se encuentran cerca de una línea recta que pasa por el origen, se concluye que no puede rechazarse la hipótesis de homogeneidad en los gustos y por tanto se procederá a la estimación de un modelo mixto con datos provenientes de los atributos considerados como mejor y aquellos considerados como peor o no deseables.

Para estimar un modelo mixto se creó una nueva base de datos con 1071 observaciones al combinar las respuestas “*best*” con las “*worst*”. El modelo se estimó con la inclusión de un factor de escala para homogeneizar las varianzas de las diferentes fuentes de datos. El ρ^2 del modelo fue 0.08, y todos los coeficientes resultaron ser significativamente diferentes de cero a excepción del factor señalización. Adicionalmente, vale destacar que el parámetro *SIGMA* que captura el efecto de correlación entre observaciones de un mismo tramo, resultó ser diferente de cero a un 95% de confianza. Los resultados del modelo se muestran en la tabla 26.

Tabla 26: Resultado del modelo best- worst de características de las condiciones de las vías

Factor	Coeficiente	Test-t robusto	Valor-P	P(u)
Trafico	1,13	5,3	0	0,28
Ancho de vía	1,12	4,16	0	0,28
Obstáculo	0,597	2,98	0	0,17
Señalización	0,326	1,51	0,13	0,13
Demarcación	0			0,09
Iluminación	-0,691	-2,77	0,01	0,05
Factor de escala	0,689	4,19	0,00	
SIGMA	2,05	4,38	0,00	

Fuente: Elaboración propia

Por medio del presente análisis se confirma que el tráfico y el ancho de una vía son los dos factores que los usuarios consideran como más importantes al momento de transitar a través de estas, obteniendo un 28% de probabilidad de elección. Los obstáculos son 1,7 veces menos importantes que los dos anteriores. Por último la señalización, la demarcación del pavimento y la iluminación suelen ser los factores que menos tienen en cuenta los conductores, sugiriendo que aquellas características relacionadas con la seguridad vial son poco valoradas al momento de evaluar la calidad de una vía.

6.1.1 Modelos de características relacionadas con las condiciones de las vías considerando grupos de individuos con diferencias de percepción

Al igual que para el caso de las fallas en el pavimento también se estimaron modelos considerando la pertenencia de los individuos a los conglomerados obtenidos mediante el análisis clúster realizado en el capítulo anterior.

Se estimaron dos modelos “logit” de solo constantes para aquellos factores considerados como los más atractivos para los usuarios. Uno para los conductores considerados como preocupados por el estado de las vías (275 observaciones) y otro modelo para el grupo de conductores que le dan menor importancia al estado de las vías (267 observaciones). Las bondades de ajuste de los modelos fueron algo bajas ($\rho^2 = 0,155$ y $\rho^2 = 0,098$, respectivamente). Para ambos modelos todos los coeficientes resultaron ser significativamente diferentes de cero teniendo en cuenta un nivel de significancia de 5% a excepción del coeficiente correspondiente al factor iluminación. Los resultados de dichas estimaciones se presentan en la tabla 27.

Tabla 27: Resultado modelo de las características consideradas más atractivas de las condiciones de las vías para diferentes grupos de usuarios respecto a tolerancia de la calidad de las vías

Nombre	Clúster 1 – Preocupados por la calidad de las vías			Clúster 2 – Más tolerantes a vías en mal estado		
	Coeficiente	Test-t robusto	Valor-P	Coeficiente	Test-t robusto	Valor-P
Ancho de vía	2,48	6,69	0	2,94	3,86	0
Demarcación	0			0		
Iluminación	0,566	1,33	0,18	1,25	1,73	0,08
Obstáculo	1,51	3,84	0	2,47	3,39	0
Señalización	1,48	3,64	0	1,97	2,45	0,01
Trafico	2,39	6,49	0	2,52	3,38	0

Fuente: Elaboración propia

Las probabilidades de elección de cada una de las alternativas se observan mediante la tabla 28. El ancho de las vías, el poco tráfico y los obstáculos representan los factores más atractivos para los usuarios independientemente de la percepción de tolerancia respecto a la calidad de la vía de los individuos. A pesar de que se observan ciertas variaciones en las probabilidades de elección, al realizar una prueba de diferencia de proporciones entre las dos muestras se puede concluir que a un nivel de confianza del 95% no se logran obtener

diferencias significativas entre las proporciones de ambos modelos. Lo anterior sugiere que la valoración de las condiciones de las vías es similar entre los conglomerados.

Tabla 28: Probabilidades de elección de las características consideradas más atractivas para clúster de evaluadores respecto a tolerancia de la calidad de las vías

Factor	Clúster 1	Clúster 2	P(Z)
Ancho de vía	0,35	0,35	0
Trafico	0,32	0,23	0,12
Obstáculos	0,13	0,22	-0,16
Señalización	0,13	0,13	0
Iluminación	0,05	0,06	-0,03
Demarcación	0,03	0,02	0,05

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Relación entre la las condiciones de la vía y su evaluación a través de un modelo de regresión

Por último, se estimaron modelos de regresión relacionando la calificación PSR con los puntajes BW de los atributos adicionales evaluados por los usuarios. Louviere (2013b) sugiere que para datos BW del caso 1, dado que las alternativas no poseen niveles cada objeto puede representarse por un único parámetro de regresión.

Para estimar la regresión, cada característica evaluada dentro de la vía fue codificada de la siguiente manera: 1 para el caso en que la condición de la vía sea elegida como la más atractiva por el usuario, -1 para el caso en que sea elegida como la menos atractiva, y 0 si no fue seleccionada. La anterior codificación se conoce en la literatura como “*effects codes*”. El modelo estimado resulto ser significativo para un 95% de confianza con todos los coeficientes significativamente diferentes de cero tal como muestran los estadísticos t debajo de cada uno de los coeficientes de la ecuación 16 que representa el modelo lineal estimado.

$$\begin{aligned}
 \text{Calificación} = & \frac{3.6}{(84,13)} + \frac{0,67}{(5,3)} * BW_{\text{Demarcación}} + \frac{0.61}{(4,62)} * BW_{\text{Señalización}} + \frac{0.98}{(7,91)} * BW_{\text{Obstaculos}} + \\
 & \frac{0.61}{(5,05)} * BW_{\text{Ancho vía}} + \frac{0.54}{(4,54)} * BW_{\text{Trafico}} + \frac{0.66}{(3,98)} * BW_{\text{Iluminación}}
 \end{aligned} \quad (16)$$

El modelo anterior sugiere que la evaluación promedio de la vía considerando la calidad de su pavimento es de 3,6, y esta varía de acuerdo a la presencia o ausencia de algunos atributos asociados a las vías. Por ejemplo, los obstáculos en la vía es el factor que genera el mayor impacto en la calificación promedio, estimando que su ausencia genera una evaluación promedio de 4,6 y su presencia una calificación de 2,6. El modelo anterior implica que factores como la demarcación de las vías, la señalización vertical, los obstáculos, el ancho de la vía, el nivel de tráfico, y la iluminación pueden incidir en la calificación promedio de los evaluadores.

7 CONCLUSIONES

En esta tesis se han presentado resultados relacionados con la importancia de las percepciones en la evaluación de la calidad de vías urbanas. La mayoría de estudios encontrados en la literatura especializada tienen como objetivo principal la obtención de modelos de serviciabilidad correlacionando el índice PSR y parámetros objetivos medibles del pavimento. Los modelos de serviciabilidad poco tienen en cuenta la potencial heterogeneidad en las percepciones de los conductores al momento de evaluar una vía y la influencia de las fallas del pavimento y otras características de la vía en la manera como los usuarios evalúan la condición de la vía en general. Esta tesis contribuye a resaltar la importancia que puede tener la componente subjetiva de los evaluadores dentro de la calificación de las vías dentro de un contexto urbano.

La metodología implementada en la presente investigación, estuvo basada en estudios similares hallados en la literatura. Se eligieron 107 tramos incluyendo pavimento flexible y rígido con el fin de hacer que conductores de diferentes tipos de vehículos de vías urbanas transitaran a través de estos mientras eran encuestados. Como parte del estudio se realizaron dos encuestas, de las cuales se obtuvo una gran base de datos de 570 observaciones con información tanto de las características socioeconómicas y comportamientos al conducir e los individuos encuestados como de sus percepciones de la calidad de los tramos de vía.

Se encuestaron 137 conductores, el 71% de la muestra nació en la ciudad de Barranquilla y el 92% del total son hombres con un promedio de edad de 37 años. El 48% del total de encuestados esta entre los 31 y 50 años de edad, el 55% del total pertenecen a estratos 2 y 3 y casi la mayor parte de los conductores encuestados posee estudios hasta bachillerato (58% del total) y el 49% del total tiene más de 10 años de experiencia conduciendo.

A partir de análisis estadísticos multivariados se obtuvieron dos variables latentes que describen las percepciones de los usuarios respecto a las vías: preocupación por la calidad de las vías y mayor importancia al estado global de las vías considerando otros factores externos a la calidad del pavimento. Dentro de la muestra utilizada se logró identificar dos grupos de individuos en base a los valores de las variables latentes. A partir de las evaluaciones de las vías realizados por estos individuos se concluyó que el PSR no representa diferencias significativas entre los grupos, y en contraste el criterio de aceptación de las vías sí. Además, se concluyó que las diferencias de género y la experiencia conduciendo son variables determinantes al momento de medir la percepción de los usuarios por las vías urbanas.

A partir del análisis *Best-Worst* se concluyó que los huecos, el desprendimiento de agregados y las fallas tipo *Blow up / buckling* son los daños en el pavimento que impactan en mayor medida en la calificación que los evaluadores otorgan a un pavimento. Estas fallas son independientes del estado del pavimento, pues resultaron ser las más importantes tanto para tramos calificados como buenos como para aquellos calificados como malos.

Aparte de la calidad de la superficie de rodadura, se encontró que el ancho de la vía fue el factor que más les gusta a los conductores, e incide en su percepción de que una vía se encuentra en buen estado; en su orden le siguen el tráfico y la presencia y/o ausencia de obstáculos en la vía, la señalización vertical, la iluminación y por último la demarcación del pavimento. Estos resultados son independientes a la tolerancia que posean los evaluadores respecto al estado de las vías. Al determinar la relación entre la evaluación PSR y los factores relacionados con las condiciones de la vía, se tiene que los obstáculos son el factor que genera un mayor impacto en la calificación, y que el ancho de la vía, el nivel de tráfico, la iluminación y la demarcación pueden incidir en la calificación promedio de los evaluadores. Con el fin de mejorar la percepción de los usuarios de las vías respecto a la calidad de las mismas, se sugiere al sistema de gestión reparar principalmente los huecos en las vías, y trabajar en subsanar condiciones como el ancho la presencia de obstáculos y políticas de regulación de tráfico.

Para finalizar, es relevante mencionar que los resultados obtenidos a través de la presente investigación contribuyen en la obtención de índices de serviciabilidad y en la administración de pavimentos de las vías urbanas. Esta tesis contribuye a resaltar la importancia de la subjetividad dentro de las evaluaciones de las vías pues permite tener en cuenta la heterogeneidad de los criterios que usan los evaluadores para calificar las vías, la importancia de ciertas fallas dentro de la calificación de un pavimento, y la importancia que pueden tener otros factores adicionales al pavimento en la calificación global de una vía.

En investigaciones futuras es importante estudiar la incidencia de factores como el tipo de vehículo, la frecuencia de tránsito de los conductores a través de una vía, la estimación de un modelo teniendo en cuenta tanto variables subjetivas como mediciones objetivas del estado de las vías, considerar la opción de estado del pavimento para el caso de aquellas características relacionadas con las condiciones de las vías, tener en cuenta en la toma de datos una muestra que sea más representativa de la población objeto de estudio e ilustrar de mejor forma a los diferentes tipos de daño a los conductores encuestados.

.

8 BIBLIOGRAFIA

AASHO. The AASHO Road Test; American Association of State Highway Officials Report 5 Pavement Research. *Highway Research Board*, 1962.

Skuman K. & Hudson. 1986, "Serviceability prediction from user-based evaluations of pavement ride quality", *Proceedings of center of transportation research, the university of Texas*. pp.66, 67- 66-75.

Adamsen, J.M., Rundle, S. & Whitty Jennifer, A. 2013, "Best-Worst scaling... reflexions on presentation, analysis, and lessons learnt from case 3", *Market and Social Research*, vol. 21, no. 1, pp. 13,14-9-27.

Arellana, J. 2012 "Modelos de Elección de la Hora de Inicio de los Viajes", Tesis de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, PUC.

Auger, P., Devinney, T. M., & Louviere, J. J. (2007). Using Best-Worst scaling methodology to investigate consumer ethical beliefs across countries. *Journal of Business Ethics*, 70 (3), 299-326

Balbontin, C. 2013, *Importancia de los atributos de vivienda y barrio en localización residencial: una aplicación del método best-worst al centro de Santiago*, Pontificia Universidad Católica de Chile escuela de Ingeniería.

Burke, P., F., Louviere, J., Wei, E., MacAulay, G., Quail, K. & Carson, R. 2013, "Overcoming Challenges and Improvements in Best-Worst Elicitation: Determining What Matters to Japanese Wheat Millers", *International Choice Modelling Conference, International Choice Modelling Conference 2013*, eds. University of Technology & Sydney, Sydney, Australia, 3-5 Julio 2013, pp. 10,11,12,13.

Byrne, B.M. (2010). *Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming* (Second Edition ed.). Taylor & Francis, New York: Routledge,.

Dallas, J., E. (2000), *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*, Ediciones el Paraninfo S.A, México.

D'Alessandro, S., & Winzar, H. 2010. Do students know best when it comes to assessment? A best/worst analysis of assessment choices. Paper presented at the ANZMAC, Christchurch.

De Solminihac, H., Salsilli, R., Köhler, E. & Bengoa, E. 2003, "Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method: the Chilean case", *The Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 28, no. 2B, pp. 145-143-160.

Díaz, L.G. 2007, *Estadística multivariada: inferencia y métodos*, I edn, Universidad Nacional, Bogotá.

Díaz, R.M., González, A., Ángel, León, Henao, P., Alvin & Díaz, Mora, Martín, Emilio (eds) 2013, *Introducción al análisis estadístico multivariado*, I edn, Ediciones Uninorte, Barranquilla, Colombia.

De la Fuente, F, Santiago (2011). "Análisis Factorial", *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales UAM (Universidad Autónoma de Madrid)*, pp. 4,5-1-32.

Esquivel G. José A., Contreras C. Francisco, Molina, G. Femando & Capel, M. Josefa 1991, "Una aplicación de la Teoría de la Información al análisis de datos definidos mediante variables cualitativas multi-estado: medidas de similaridad y análisis cluster. ", *Departamento de Prehistoria. Universidad de Granada*, vol. 1, pp. 54-53-64.

Fuentes, L.G., Curiel, D., Velosa, C., Vergara, A. & Gómez, N. 2012, "La administración vial y su evolución e implementación en Colombia, quinto seminario latinoamericano del Asfalto", *Octava Jornada Internacional del Asfalto Bogotá*, 8-12 Octubre, pp. 24.

Goett, A., Hudson, K. & Train, K. 2000. Costumer choice among retail energy suppliers: the willingness-to-pay for service attributes. *Energy Journal*, pp. 21, 1-28.

Hair, JR,Jhosep,F, Black, W.,C, Babin, B.,j & Anderson, R.,E 2010, *Multivariate Data Analysis*, 7th edn, Pearson, United States of America.

Highway Research Board. 1962. The AASHO Road Test: American Association of State Highway Officials Report 5 Pavement Research.

Kahn, J.H. (2006). Factor analysis in Counseling Psychology: research, training and practice. *The Counseling Psychologist*, 34, 1-36.

Marley, A.A.J. & Louviere, J.J. 2005, "Some Probabilistics models of best, worst, and best-worst choices", *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 49, pp. 464-480.

Mueller, S., Lockshin, L., Saltman, Y., & Blanford, J. 2010. Message on a bottle: The relative influence of wine back label information on wine choice. *Food Quality and Preference*,p.p 21 (1), 22-32.

Muthén, L.K., & Muthén, B.O. (1998-2012). *Mplus user's guide* (Seventh ed.). Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.

Nair, S.K., & Hudson, W.R. (1986). Serviceability prediction from user-based evaluations of pavement ride quality. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1084, 66-75.

Larrañaga, A., M., Bettella, H., B., Arellana, J., Rizzi, I. & Strambi, O. 2016. *Importance of built environment characteristics to promote walkable neighborhoods using best-worst scaling*, Working paper.

La Torre, F., Ballerini, L. , & Di Volo, N. 2002, "Correlation between longitudinal roughness and user perception in urban areas", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1806, pp.132,131-139.

Lopez, P., C. (ed) 2004, *Técnicas de análisis Multivariante de datos Aplicaciones con SPSS*, Pearson Education S.A, Madrid.

Louviere, J.J. (2013a), Modelling single individuals: the journey from psych lab to the app store. In S. Hess y A.J. Daly (eds.), *Choice Modelling: The State of the Art and the State of Practice*. Edward Elgar Publishing, Inc

Louviere, J.J & Flynn, T. N. 2010. Valuing citizen and patient preferences in health: recent developments in three types of best-worst scaling. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research*, 10(3), 259-259-267.

Louviere, J., Lings I., Islam T. Gudergan S., Flynn T. (2013b). An introduction to the application of (case 1) best – worst scaling in marketing research, *intern. J. of research un Marketing*, vol. 30, pp 292-303.

Louviere, J.J., and Woodworth. G. 1990. Best-worst scaling: A model for largest difference judgments. Working Paper, *Faculty of Business, University of Alberta*.

Lozares, C., Carlos & Lopez, R., Pedro 1991, "El Análisis Multivariado: Definición, criterios y clasificación", *Universidad Autónoma de Barcelona*, vol. 37, pp. 12-9-29.

Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. 2011. *Modelling Transport* (Fourth ed.). Santiago, Chile: Wiley.

Pérez, E.R., & Medrano, L. (2010). Análisis factorial exploratorio: bases conceptuales y metodológicas. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 2(1), 58-66.

Prozzi Jorge A & Madanat Samer M. 2003, "Incremental Nonlinear Model for Predicting Pavement Serviceability", *Journal Of Transportation Engineering*, vol. 129, no. 6, pp. 635-635-641.

Quero, V., Milton & Inciarte P., Karla 2012, "clasificación de las técnicas estadísticas multivariantes", *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales Universidad Rafael Belloso Chacín*, vol. 14, no. 2, pp. 276-275-286.

Schermelleh, K., E. & Moosbrugger, Helfried, Müller, Hans 2003, "Evaluating the Fit of Structural Equation Models: Tests of Significance and Descriptive Goodness-of-Fit Measures", *Methods of Psychological Research*, vol. 8, no. 2, pp. 36-23-74.

Shah, Y.U., Jain, S.S., Tiwari, D., & Jain, M.K. 2013, "Modeling the Pavement Serviceability Index for Urban Roads in Noida" *International Journal of Pavement Research and Technology*, Vol. 6, No.1, PP 66-66-72.

Shafizadeh, K., & Mannering, F. 2003, "Acceptability of Pavement Roughness on Urban Highways by the Driving Public", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol 7, pp.4, 1-10.

Shafizadeh, K, & Mannering, F 2006, 'Statistical Modeling of User Perceptions of Infrastructure Condition: Application to the Case of Highway Roughness', *Journal Of Transportation Engineering*, Vol 132, no.2, pp. 134, 134-140.

Sun, L. 2001, "On human perception and evaluation to road surfaces", *Journal of sound and vibration*, vol. 247, no. 3, pp. 547-547-559.

Swait, J. & Bernardino, A. 2000, "Distinguishing taste variation from error structure in discrete choice data", *Transportation Research*, vol. B, no. 34, C 9-1-15.

Tehrani, S., Falls, S., Cowe, L. & Mesher, D. 2015 " Road users' perception of roughness and the corresponding IRI threshold Coeficientes", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 42, no.4, pp 233-240. doi: 10.1139/cjce-2014-0344

Universidad Complutense de Madrid (UCM), Programa de Sociología IV (2010), *Material de la Asignatura Análisis Multivariante Capítulo 20: El procedimiento de Análisis Factorial*, Madrid, España. Disponible en:
http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/20factor_SPSS.pdf

Uriel, J., Ezequiel & Aldás, M., Joaquín 2005, *Análisis multivariante aplicado: aplicaciones al marketing, investigación de mercados, economía, dirección de empresas y turismo*, Thomson edn, Ediciones el Paraninfo, España.

9 ANEXOS

9.1 Anexo 1: formulario para toma de información de conductores



MODELOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL



A continuación se presenta una serie de preguntas con las cuales se pretende evaluar La calidad de la infraestructura vial de la ciudad de Barranquilla. Para ello lo invitamos a contestar este cuestionario, su colaboración es de vital importancia para los objetivos propuestos por el estudio. Su identidad no se relacionara con las respuestas suministradas y esta será de carácter confidencial. Los datos solo se utilizaran para fines investigativos.

Responsable:	ING. Joyce L Cantillo Zuleta	joycec@uninorte.edu.co	Joven Investigadora Colciencias
---------------------	------------------------------	------------------------	---------------------------------

I. IDENTIFICACION DEL ENCUESTADO

Nombre: _____

Edad: _____

Teléfono y/o celular de contacto: _____

Correo electrónico: _____

Sexo: ☐ Femenino ☐ Masculino

Lugar de nacimiento: _____

Indique el estrato del barrio donde vive: _____

¿Cuál fue su último nivel de Escolaridad alcanzado? Escoja:

1__ Primaria 2__ Bachiller 3__ Técnico/Tecnólogo 4__ Universitario 5__ Postgrado

II. CONDUCTA Y PERCEPCION

¿Cuánto tiempo lleva usted conduciendo? (Señale con una x)

1__ Menos de un año 2__ Entre 1 y 3 años 3__ Entre 4 y 10 años 4__ Entre 10 y 20 años 5__ Mas de 20 años




Tipo de conductor al que se le realizó la encuesta:

1__ Particular 2__ Taxista 3__ Conductor de bus 4__ Conductor de camión

¿Qué tan de acuerdo se encuentra usted con las siguientes afirmaciones? (Marque con una X).

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1. Manejar a mayor velocidad hace que sienta menos los huecos en la vía					
2. Pasar por una vía en mal estado podría generarme problemas de salud					
3. La mayoría de las vías en Barranquilla deben ser reparadas					
4. Si una vía tiene un hueco considero que está en mal estado					
5. Si voy de afán no me doy cuenta de los huecos existentes en la vía					
6. Si voy escuchando música o hablando siento la vía más cómoda					
7. Prefiero no pasar por vías que se encuentren en mal estado					
8. Me incomoda la presencia de vendedores cuando paso por una vía					
9. La basura me hace tener una imagen negativa de la vía					
10. No me importa pasar por vías en mal estado si hay pocos carros en estas					
11. Cuando conduzco me importa más los paisajes de los alrededores que el estado de la vía.					
12. Las imperfecciones de la vía podrían hacerme cometer infracciones de tránsito.					
13. Las vías de Barranquilla son aptas para ser recorridas					
14. El transitar por ciertas vías, altera mi estado de ánimo					
15. Una vía desgastada (rugosa) es igual de mala que una vía llena de huecos					
16. Al pasar por vías en mal estado estoy propenso a sufrir un accidente					
17. Las autoridades realizan su mejor esfuerzo para mantener las vías en buen estado					
18. Me da lo mismo el estado de las vías en la ciudad					
19. Si siento que el carro brinca o golpea cuando conduzco entonces la vía está mala					

9.2 Anexo 2: formulario de encuesta para toma de información de las vías

Tramo Fecha

Evaluador: Hora:

II. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

¿Cómo califica el estado de la vía? Califique del 1 al 5 siendo 1 muy Malo y 5 muy Bueno

☐ 5 Muy Bueno
 ☐ 4 Bueno
 ☐ 3 Regular
 ☐ 2 Malo
 ☐ 1 Muy malo

Considera que el tramo de vía debe ser reparado?

☐ Si
 ☐ No

¿Cuál de los siguientes factores relacionados con el pavimento fué el que influyó más en la calificación que le dió a esta vía?

<input type="radio"/> 1. Huecos	<input type="radio"/> 4. Grietas	<input type="radio"/> 7. Vía plana o sin lomas
<input type="radio"/> 2. Losas partidas	<input type="radio"/> 5. Residuos de cemento	<input type="radio"/> 8. No tiene hueco
<input type="radio"/> 3. Hundimiento o desnivel	<input type="radio"/> 6. Parches	<input type="radio"/> 9. No tiene Parches

¿Cuál de los sigtes factores relacionados con el pavimento fué el que menos influyó en la calificación que le dió a esta vía?

<input type="radio"/> 1. Huecos	<input type="radio"/> 4. Grietas	<input type="radio"/> 7. Vía plana o sin lomas
<input type="radio"/> 2. Losas partidas	<input type="radio"/> 5. Residuos de cemento	<input type="radio"/> 8. No tiene hueco
<input type="radio"/> 3. Hundimiento o desnivel	<input type="radio"/> 6. Parches	<input type="radio"/> 9. No tiene Parches

¿Cuál de los siguientes factores fué el que más le impacto positivamente al pasar por esta vía?

<input type="radio"/> 1. Demarcación del pavimento	<input type="radio"/> 2. Señalización	<input type="radio"/> 3. Sin Obstáculos	<input type="radio"/> 4. Vía Ancho
<input type="radio"/> 5. Poco tráfico	<input type="radio"/> 6. Buena Iluminación		

¿Cuál de los siguientes factores fué el que más le impacto negativamente al pasar por esta vía?

<input type="radio"/> 1. Demarcación del pavimento	<input type="radio"/> 2. Señalización	<input type="radio"/> 3. Con Obstáculos	<input type="radio"/> 4. Vía Angosta
<input type="radio"/> 5. Mucho tráfico	<input type="radio"/> 6. Mala Iluminación		

¿Cuántos días a la semana pasa por esta vía?:

9.3 Anexo 3: Matriz de correlaciones Análisis factorial Exploratorio

		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19
Sig, (Unilateral)	I1		0,08	0,074	0,105	0,03	0,452	0,016	0,282	0,43	0,053	0,457	0,139	0,074	0,45	0,171	0,465	0,497	0,077	0,423
	I2	0,08		0	0	0,069	0,376	0,08	0,066	0	0,205	0,031	0,022	0,109	0	0,377	0,001	0,441	0,009	0,003
	I3	0,074	0		0,003	0,06	0,242	0,325	0,258	0	0,281	0,058	0,005	0,058	0,001	0,387	0	0,007	0	0,008
	I4	0,105	0	0,003		0,35	0,203	0,285	0,468	0,057	0,215	0,482	0,227	0,372	0,005	0,068	0	0,215	0,47	0
	I5	0,03	0,069	0,06	0,35		0	0	0,119	0,042	0,013	0	0,158	0,006	0,021	0,308	0	0,255	0,002	0,014
	I6	0,452	0,376	0,242	0,203	0		0,086	0,336	0,182	0,004	0,011	0,082	0,012	0,149	0,486	0,059	0,077	0,188	0,035
	I7	0,016	0,08	0,325	0,285	0	0,086		0,002	0,098	0	0,002	0,177	0,485	0,001	0,371	0	0,162	0	0,002
	I8	0,282	0,066	0,258	0,468	0,119	0,336	0,002		0,134	0	0,026	0,149	0,249	0,113	0,177	0,122	0,194	0,323	0,465
	I9	0,43	0	0	0,057	0,042	0,182	0,098	0,134		0,486	0,41	0,032	0,224	0,087	0,09	0	0,417	0	0,091
	I10	0,053	0,205	0,281	0,215	0,013	0,004	0	0	0,486		0,088	0,09	0,134	0,297	0,429	0,466	0,007	0,238	0,159
	I11	0,457	0,031	0,058	0,482	0	0,011	0,002	0,026	0,41	0,088		0,185	0,032	0,123	0,039	0	0	0	0,303
	I12	0,139	0,022	0,005	0,227	0,158	0,082	0,177	0,149	0,032	0,09	0,185		0,186	0,004	0,09	0	0,002	0	0,055
	I13	0,074	0,109	0,058	0,372	0,006	0,012	0,485	0,249	0,224	0,134	0,032	0,186		0,486	0	0,426	0,004	0,019	0,049
	I14	0,45	0	0,001	0,005	0,021	0,149	0,001	0,113	0,087	0,297	0,123	0,004	0,486		0,408	0,031	0,458	0,008	0,344
	I15	0,171	0,377	0,387	0,068	0,308	0,486	0,371	0,177	0,09	0,429	0,039	0,09	0	0,408		0,223	0,143	0,425	0,389
	I16	0,465	0,001	0	0	0	0,059	0	0,122	0	0,466	0	0	0,426	0,031	0,223		0,009	0	0,001
	I17	0,497	0,441	0,007	0,215	0,255	0,077	0,162	0,194	0,417	0,007	0	0,002	0,004	0,458	0,143	0,009		0,001	0
	I18	0,077	0,009	0	0,47	0,002	0,188	0	0,323	0	0,238	0	0	0,019	0,008	0,425	0	0,001		0,001
	I19	0,423	0,003	0,008	0	0,014	0,035	0,002	0,465	0,091	0,159	0,303	0,055	0,049	0,344	0,389	0,001	0	0,001	

9.4 Anexo 4: Varianza total explicada Análisis factorial Exploratorio

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,96	15,58	15,58	2,96	15,58	15,58	2,195	11,553	11,553
2	1,748	9,198	24,778	1,748	9,198	24,778	2,036	10,714	22,267
3	1,628	8,567	33,345	1,628	8,567	33,345	1,795	9,448	31,715
4	1,25	6,579	39,924	1,25	6,579	39,924	1,56	8,209	39,924
5	1,178	6,197	46,122						
6	1,143	6,017	52,138						
7	1,002	5,274	57,412						
8	0,949	4,992	62,404						
9	0,898	4,726	67,13						
10	0,851	4,479	71,609						
11	0,828	4,36	75,969						
12	0,796	4,187	80,156						
13	0,678	3,567	83,723						
14	0,675	3,551	87,274						
15	0,583	3,068	90,342						
16	0,549	2,888	93,23						
17	0,504	2,65	95,88						
18	0,431	2,269	98,149						
19	0,352	1,851	1,00						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.